

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE DE SAAD DAHLAB BLIDA -1-



FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE DES ORGANISMES

Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme de Master dans le domaine SNV

Filière Sciences Biologiques

Option Biodiversité et Physiologie Végétale

Synthèse sur l'utilisation de la fève (*Vicia faba*) en phytoremédiation des sols
contaminés par les hydrocarbures

Présenté par

Mlle. Belkacemi Sara

Mlle. Mouzaoui Sofia

Soutenue le, 13/09/2021 à 9h, devant le jury composé de :

Grandi M.	MCB.	À l'U. de Blida -1-	Examineur
Rouibi A.	Professeur.	À l'U. de Blida -1-	Président
Zerkaoui A.	MAA.	À l'U. de Blida -1-	Promotrice

Année universitaire: 2020 / 2021

REMERCIEMENTS

En préambule de ce mémoire, nous souhaitons adresser ici tous nos remerciements aux personnes qui nous ont apporté de l'aide et qui ont ainsi contribué à l'élaboration de ce mémoire

Tout d'abord, nous remercions notre promotrice, Madame Zarkaoui enseignante à l'université de Saad Dahleb Blida pour nous avoir encadrés et orientés, tout au long de ce travail son aide et son soutien étaient la source de notre motivation.

Notre reconnaissance va également au Professeur Rouibi d'avoir accepté d'évaluer notre travail, mais aussi d'avoir enrichi nos connaissances et de nous avoir guidé durant toute notre parcours.

Nous tenons à remercier Mr Grandi de nous avoir fait l'honneur de présider le jury de notre soutenance

Nous tenons aussi à remercier tous les enseignants de master «biodiversité et physiologie végétale »

Enfin nous adressons nos sincères remerciements à tous nos proches et amis qui nous ont toujours soutenu et encouragé au cours de la réalisation de ce mémoire

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail à :

Mes parents et a ma sœur pour leur amour, leur confiance, leurs conseils ainsi que leur soutien
inconditionnel qui m'a permis de réaliser les études pour lesquelles je me destine et par
conséquent ce mémoire.

Mon binôme et amie Sofia.

Tous mes enseignants, que ce soit du primaire, du moyen, du secondaire ou de l'enseignement
supérieur.

Belkacemi

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail :

A mes parents pour leur soutien et leur encouragement

À ma sœur Sonia

À mon binôme Sara et à toute sa famille.

Mouzaoui

Résume :

Notre étude a pour but de démontrer la fiabilité de la fève *Vicia Faba* en tant qu'une plante phytoremediante aux hydrocarbures (essence super et gasoil) ainsi qu'une étude théorique dans le même objectif.

Nous avons étudié les effets toxique des hydrocarbures sur la plante dans les paramètres suivant (taux de levée, hauteur des plantes, nombre de feuille, biomasse racinaire et aérienne). Pour la synthèse, Six articles de la phytoremédiaiton de la fève dans les sols pollué aux hydrocarbures ont été traités. (**Hawrot-Paw et Bąkowska, Radwan *et al.*, Hassan El-Tantawy et El- Hilaly, Ibrahim Al-Hilali *et al.*, Diab, Rao *et al.*,)**

Selon notre expérience, l'effet toxique des hydrocarbures (essence super et gasoil) s'est exprimé dans tous les paramètres étudiés. Il y a une diminution de tous les paramètres, on constate une différence de 34,4% pour le taux de levé par rapport au plantes cultivé dans un sol non contaminé, et pour la hauteur des plantes une diminution de 13 cm au cours de la huitième semaine comparé à la fève cultivé dans un sol non contaminé.

Pour l'étude théorique, Le pouvoir dépolluant de *Vicia faba* a été étudié dans différent type de sol et contaminé avec différent type d'hydrocarbures, ceci pour optimiser l'efficacité de la remédiation.

De notre synthèse on en conclu que dans un sol limoneux contaminé à 1% la fève n'est pas considérée comme une plante phytoremediante, mais elle peut l'être dans un sol sablonneux contaminé par le pétrole brut, En tenant compte de la variété de *Vicia faba* ainsi que de la composition de la rhizosphère, Il a été prouvé que les racines de la fève stimulent le développement des microorganismes décomposeurs.

La consommation des produits des plantes cultivées dans des sols contaminés peut être dangereuses, car les racines de la fève absorbent les hydrocarbures aliphatiques et les stockent en quantités considérables dans les graines et les feuilles de la plante.

Mots clés : *Vicia faba*, phytoremédiation, hydrocarbures, pollution, croissance.

Abstract

The aim of our study is to demonstrate the reliability of the *Vicia Faba* as a phytoremediant plant with hydrocarbons (super petrol and diesel) as well as a synthesis of six articles on the same purpose.

The toxic effects of hydrocarbons on the plant were studied in the following parameters (emergence rate, plant height, leaf number, root biomass and aerial biomass). For synthesis, Six articles on bean phytoremediation in hydrocarbon-polluted soils were treated (**Hawrot-Paw and Bąkowska, Radwan *et al.*, Hassan El-Tantawy and El-Hilaly, Ibrahim Al-Hilali *et al.*, Diab, Rao *et al.*,).**

In our experience, the toxic effect of hydrocarbons (super petrol and diesel) has been expressed in plants. There is a decrease in all the parameters studied, there is a difference of 34.4% for the survey rate compared to plants grown in uncontaminated soil, and for plant height a decrease of 13 cm during the eighth week compared to the bean grown in uncontaminated soil.

The depolluting power of *Vicia faba* has been studied in different types of soil and contaminated with different types of hydrocarbons, to optimize the effectiveness of remediation.

From our synthesis it is concluded that in a loamy soil contaminated with 1% of diesel, the bean is not considered as a phytoremediation plant, but it can be in a sandy soil contaminated with crude oil, Taking into account the variety of *Vicia faba* as well as the composition of the rhizosphere, it has been proven that the roots of the bean stimulate the development of decomposing microorganisms.

The consumption of plant products in contaminated soils can be dangerous, as the roots of the bean absorb aliphatic hydrocarbons and store them in considerable quantities in the seeds and leaves of the plant.

Keywords: *Vicia faba*, phytoremediation, hydrocarbons, pollution, growth.

المخلص :

تهدف دراستنا إلى إثبات فعالية فول *Vicia Faba* كنبات معالج لآثار الهيدروكربونات (غازولين و مازوت) بالاستعانة بستة مقالات في نفس السياق من أجل التحرير.

قمنا بدراسة التأثيرات السامة للهيدروكربونات على النبات في المتغيرات التالية (معدل الظهور ، ارتفاع النباتات ، عدد الأوراق ، الكتلة الحيوية الجذرية والهوائية) من أجل التركيب قمنًا بتحليل ست مقالات متعلقة بالمعالجة النباتية للقول في التربة الملوثة بالهيدروكربونات- (Hawrot-Paw et Bąkowska, Radwan et al., Hassan El- Tantawy et El- Hilaly, Ibrahim Al-Hilali et al., Diab, Rao et al.,)

نستنتج من تجربتنا ان التأثير السام للهيدروكربونات (المازوت و الغازولين) يتمثل في النباتات. كما و أن هناك انخفاض في جميع المتغيرات المدروسة ، وجود فرق 34.4% في معدل الظهور مقارنة بالنباتات المزروعة في تربة غير ملوثة ، اما با النسبه إلى ارتفاع النباتات فقد انخفض با13 سم في الأسبوع الثامن. مقارنة بالنباتات المزروعة في التربة الغير ملوثة.

أثبتت العديد من الدراسات فعالية البقوليات في المعالجة النباتية للتربة الملوثة بالهيدروكربونات. تمت دراسة فعالية *Vicia faba* في إزالة التلوث في أنواع مختلفة من التربة الملوثة بأنواع مختلفة من الهيدروكربونات ، من أجل تحسين المعالجة.

نستنتج من دراستنا أنه في التربة الطينية الملوثة بنسبة 1% ، لا يعتبر الفول صالحًا للمعالجة النباتية ، ولكن يمكن أن يكون في تربة رملية ملوثة بالبتروال الخام ، مع مراعاة تنوع *Vicia faba* وكذلك مكونات الطبقة القريبة من الجذور ، فقد ثبت أن جذورها تحفز تطور الكائنات الحية الدقيقة المتحللة.

يمكن أن يكون استهلاك منتجات النباتات المزروعة في تربة ملوثة أمرًا خطيرًا ، حيث تمتص جذور الفول الهيدروكربونات الأليفاتية وتخزنها بكميات كبيرة في بذور وأوراق النبات.

الكلمات المفتاحية: *Vicia faba* ، المعالجة النباتية ، الهيدروكربونات ، التلوث ، النمو.

Liste des Abréviations

CGL	:	chromatographie gaz/liquide
HC	:	Hydrocarbure
S	:	Semaine
SC	:	Sol contaminé
SCC	:	Sol contaminé cultivé
SNC	:	Sol non contaminé
SNCC	:	Sol non contaminé cultivé
F	:	la fève
T	:	Témoin
HAP	:	Hydrocarbures aromatiques polycycliques

Listes des figures

Figure 1 : Les différents mécanismes de la phytoremédiation des sols (Alchimia, 2016).....	11
Figure 2 Germinations des graines de <i>Vicia faba</i> (Photo original 2021)	20
Figure 3 : Taux de levée de la fève, dans un sol témoin et contaminé	23
Figure 4 : Hauteur moyenne des plantes de la fève cultivés dans les sols contaminé et non contaminé.....	24
Figure 5 : longueur des plantes après 3 semaines de culture dans le sol contaminé (à droite), sol non contaminé (à gauche) (Photo originale 2021)	25
Figure 6 : Nombre moyen des feuilles de l'espèce (fève) cultivés dans les sols contaminé et non contaminé	27
Figure 7 : Biomasse aérienne moyenne des plantes	28
Figure 8 : Biomasse racinaire moyenne des plantes.....	29
Figure 9 : partie racinaire de la fève cultivée dans un sol contaminé (photo original 2021) .	29
Figure 10 : partie aérienne et racinaire de la fève cultivée dans un sol contaminée (photo original 2021)	30
Figure 11 Les plantes de la fève cultivé dans un sol non contaminé. (photo original 2021)	31
Figure 12 Teneur moyenne en composés sensibles à l'extraction à l'éther	32
Figure 13 : La présence de microorganismes décomposeurs d'hydrocarbures dans le sol cultivé contaminé (R+), sol cultivé non contaminé (R-), sol non cultivé contaminé (S+), sol non cultivé non contaminé (S-).	37

Liste des tableaux

Tableau 1 Différentes familles des hydrocarbures (Colin, 2000)	4
Tableau 2 Techniques biologiques de dépollution des sols retenues par l'ADEME, SD	10
Tableau 3 Quelques travaux de phytoremédiation des sols pollués par les hydrocarbures par la fève.....	22
Tableau 4 Hauteurs moyennes des plants de la fève cultivée sur le sol contaminé et non contaminé en (cm)	24
Tableau 5 L'évolution de nombres moyens de feuilles de la fève dans les sols contaminés et non contaminés au bout de deux mois.....	26
Tableau 6 diminution d'hydrocarbures après 12 semaines de culture.....	33
Tableau 7 : Effet du pétrole sur la germination des graines de fève	34
Tableau 8 Résultats de <i>Vicia faba</i> avant et après contamination au pétrole brut.....	36

Table des matières

Résumé

Abstract

ملخص

Liste des Abréviations

Liste des Figures

Liste des Tableaux

Introduction :.....	1
Chapitre I : Synthèse bibliographique	3
I.1.Généralités sur les hydrocarbures :.....	3
I.1.1.Définition des hydrocarbures :.....	3
I.1.2 Définition de pétrole :.....	3
I.1.3 Composition chimique des hydrocarbures :.....	3
I.1.4. Type des hydrocarbures :.....	4
I.1.5 Pollution du sol par les hydrocarbures :	5
I.2 Les différents procédés d'élimination des hydrocarbures dans le sol :	6
I.2.1 Techniques chimiques :	6
I.2.3 Techniques thermiques :.....	8
I.2.4 Inconvénient des traitements non biologiques :	8
I.2.5 Traitements biologiques :.....	9
I.2.5 Bioremédiation :	9
I.3 Phytoremédiation :.....	11
I.3.1 Principe :.....	11
I.3.2 Techniques de phytoremédiation :	11
I.3.3 Bénéfice, limite et contrainte de la phytoremediation :.....	13
I.3.4 Une plante phytoremédiane :	13
I.3.5 Critères de choix des plantes phytoremédiantes	13
I.3.6 Généralités sur les légumineuses :.....	14
I.3.7 Vicia faba L.....	14
Chapitre II Matériels et méthodes :	18
II.1. Partie pratique :	18
II.1.1 Matériel végétal :	18
II.1.2 Méthodes	18
II.1.6 Effets toxiques des hydrocarbures sur le rendement des plantes :.....	19

II.2 Synthèse des travaux :	21
III. Résultats et discussions.....	23
III.1 Effets des hydrocarbures sur le rendement de l'espèce :.....	23
III.1.2 le taux de levée :	23
III. 1.2 Hauteur des plantes :.....	24
III. 1.3 Nombres de feuilles :	26
III. 1.4 Biomasse aérienne :	28
III.1.5 Biomasse racinaire :.....	28
III.2. Synthèse des travaux :	31
III.2.1 résultats :	31
III.2.2 Discussion des travaux :.....	39
Conclusion :	41
Liste de références	43

Introduction

Introduction :

Le sol est la partie vivante de la géosphère, constituant la couche la plus externe de la croûte terrestre. Il joue un rôle important dans le maintien de l'activité biologique et de la biodiversité à la surface de la planète. L'industrialisation, les naufrages pétroliers, les activités minières et l'intensification de l'agriculture ont toutes contribué à la contamination des sols à travers le monde. Et cela affecte surtout les activités dépendantes de la terre. Mais aussi la santé humaine et les écosystèmes (**verdin *et al.*, 2004**).

Les hydrocarbures pétroliers sont de loin les contaminants du sol les plus courants (**Stroud *et al.*, 2007**). Ce problème ne cesse d'augmenter en raison de la demande et de la production continue de ces produits chimiques. La pollution du sol par les hydrocarbures est due soit par déversement des fluides pétroliers tels que le pétrole brut, le gasoil, le fuel, l'essence et le kérosène, dans le sol, soit par les dérivés des activités pétrolières dans les décharges ou les installations industrielles non contrôlées, ou bien par accidents de transport ou par le biais de rejets industriels (**Lecomte, 1998**).

Afin de protéger notre environnement ainsi que notre santé l'élaboration de stratégies d'assainissement des sols contaminés est d'une importance cruciale (**Atsdr, 1995**). Les approches les plus couramment utilisées pour les sites contaminés par les hydrocarbures sont les techniques physiques, chimiques et thermiques. Ils sont souvent inefficaces, très coûteuses et écologiquement inacceptables (**Meagher, 2000**). Les techniques biologiques, y compris la bioremédiation et la phytoremédiation, peuvent réduire considérablement la concentration de nombreux contaminants environnementaux tout en étant plus durables sur le plan environnemental et économique (**Pradhan *et al.*, 1998; Wiltse *et al.*, 1998**).

La phytoremédiation, est une technique de dépollution basée sur les plantes et leurs interactions avec le sol et les microorganismes. C'est une technologie en développement. Plusieurs études ont été publiées sur l'utilisation de la phytoremédiation pour dégrader les composés hydrocarbonés, (**Lee *et al.*, 2008; Palmroth *et al.*, 2002**). En comparant ces études, on constate que le choix de l'espèce végétale a une forte influence sur le mécanisme et l'efficacité de la technique. Les conditions pédologiques et climatiques et le type de contaminant affectent également la dégradation, et par conséquent, il est nécessaire d'examiner les études de phytoremédiation dans une perspective multidisciplinaire pour pouvoir comprendre, et ainsi

Introduction

Optimiser la remédiation des hydrocarbures dans les sols contaminés.

En effet, plusieurs études expérimentales ont révélé que *Vicia faba* peut être utilisée comme plante phyto-rémediante des sols pollués aux hydrocarbures.

Afin d'apporter une modeste contribution à la recherche sur l'utilisation de la fève comme plante dépolluante. Notre mémoire a deux objectifs, Le premier est d'évaluer la résistance de *Vicia faba* à une contamination artificielle par le mélange de diesel et d'essence super, le second est une étude théorique de la croissance de *Vicia faba* dans différents types de sols contaminés par différents types d'hydrocarbures.

Chapitre I : Synthèse bibliographique

I.1.Généralités sur les hydrocarbures :

I.1.1.Définition des hydrocarbures :

Le terme hydrocarbure désigne les mélanges de composés organiques présents dans des matières géologiques tels que le pétrole brut, du bitume et du charbon, Et dans des matières organique tels que les déchets qui sous l'effet de l'augmentation de la température et de la pression, forment les huiles ou le pétrole brut. Ils font partie des produits chimiques les plus importants pour l'humanité ; ils sont notamment utilisés comme source d'énergie primaire **(Chakraborty et Coates, 2004)**.

Les hydrocarbures sont des composés organique constitué exclusivement d'atomes de carbone (C) et d'hydrogène (H), Ils possèdent une formule brute de type C_nH_m , où n et m sont deux entiers naturels. Ils peuvent être soit saturés lorsque la chaîne de carbone possède uniquement des liaisons simples ou insaturés lorsque la chaîne de carbone contient au moins une liaison double ou triple. Ceux-ci peuvent être linéaire, ramifié ou cyclique **(Origo et al., 2012)**.

I.1.2 Définition de pétrole :

Le pétrole est une Huile minérale d'origine naturelle, issue de l'accumulation et de la transformation de matière organique, et qui est composée d'un mélange complexe d'hydrocarbures et D'autres éléments comme le soufre, l'azote, l'oxygène et certains métaux existent également en faibles concentrations ou à l'état de traces dans les fractions pétrolières. On le trouve en grandes quantités dans des gisements enfouis sous la surface des continents ou au fond des mers **(Belabbas, 2017)**

I.1.3 Composition chimique des hydrocarbures :

Les hydrocarbures sont composé majoritairement d'alcane saturés non cycliques (ou paraffines) et cycliques (ou naphènes), d'alcènes (ou oléfines), de composés aromatiques monocycliques (BTEX : benzène, toluène, éthylbenzène et xylène), d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

Synthèse Bibliographique

I.1.4. Type des hydrocarbures :

Parmi les hydrocarbures, On distingue classiquement trois grandes familles : les hydrocarbures aliphatiques, les hydrocarbures cycliques, et les hydrocarbures aromatiques.

Tableau 1 : Différentes familles des hydrocarbures (Colin, 2000)

Famille	Sous-famille	Substance (liste non exhaustive)
les hydrocarbures saturés	Alcanes	Alcanes Méthane Ethane Propane Butane et isobutane Pentanes et Hexanes
	Cyclanes	Cyclopropane Cyclobutane Cyclopentane...
les hydrocarbures insaturés	Alcènes	Alcènes Éthylène Propylène Butènes Butadiènes Isoprène...
	Cyclènes	Cyclopentène Cyclohexène...
	Alcynes	Acétylène Méthylcétylène...
les hydrocarbures aromatiques	Monocycliques (HAM :BTEX)	Benzène Toluène Ethylbenzène xylènes
	Polycycliques(HAP)	Naphtalène Anthracène Phénanthrène Pyrène...

Synthèse Bibliographique

I.1.5 Pollution du sol par les hydrocarbures :

Le sol peut être contaminé par les hydrocarbures de différentes manières, il peut être de source naturelle par contamination due aux suintements naturels d'hydrocarbures ou bien de source anthropique par contaminations atmosphériques, pollution Chronique ou accidentelle. (Chalghmi.H, 2015).

I.1.5.1 Suintements naturels :

Ce sont des hydrocarbures, comme du pétrole ou du méthane (gaz naturel), qui migre spontanément jusqu'en surface et forme des accumulations naturelles de pétrole dans le sol ou dans l'eau.

I.1.5.2 Contaminations atmosphériques :

Elle peut être de source anthropique comme, la micropollution des sols provoquée par les particules contenues dans les fumées industrielles, gaz d'échappement des moteurs, le pétrole qui se perd par évaporation au cours de son transfert de la raffinerie aux camions citernes, aux réservoirs du post de distribution puis à la voiture. Mais aussi de source naturel par par les végétaux supérieurs, les algues et les feux de forêt (Gerard, 2005).

I.1.5.3 Pollution Chronique :

Cette pollution est liée aux activités de transport et de production du pétrole. Elle comprend : les rejets des raffineries, les industries (usines pétrochimiques), les ateliers de réparation d'automobiles, les stations d'essence, ainsi que les puits de pétrole

I.1.5.4 Pollution accidentelle :

Cette pollution peut être considérée comme la plus dangereuse des contaminations des sols, car elle peut conduire à de graves conséquences.

La pollution accidentelle peut se produire lors des accidents de transport (camions citernes), les fuites de canalisation, rupture des oléoducs pendant les opérations de forage et lors des accidents survenus aux puits de pétrole. Selon **Chaineau et al., (2000)** le transport représente la source la plus importante car dans toutes ses étapes il y a des pertes.

I.2 Les différents procédés d'élimination des hydrocarbures dans le sol :

Selon **Soleimani et Jaberi, (2014)** Les méthodes d'assainissement des sols peuvent être divisées en trois parties (thermique, chimique et biologique) qui peuvent être réalisées ex-situ ou in-situ en fonction du type de procédé

Avant de choisir la méthode de dépollution on doit prendre en compte (**Técher, 2011**) :

- Le type de polluant et sa composition
- diversité des conditions locales
- pollution récente ou ancienne, étendu ou non
- les exigences économiques et administratives

Et On fonction de ces trois dernières catégorie peuvent être menées :

➤ **Les méthodes in-situ :**

La dépollution se fait sans excavation du sol, cette dernière est choisie lorsque la zone traitée est en activité ou lorsque elle est trop étendue pour avoir recoure a l'excavation.

➤ **Les méthodes ex-situ :**

Ici on parle de méthode hors site elle consiste à l'excavation des sols contaminés si ces sols évacué vers des centre spécialisés, ou des méthodes sur site si le sol contaminé excavé est disposé sur le site pour être traité ultérieurement.

Les méthodes d'assainissement des sols peuvent être divisées en trois parties (thermique, chimique et biologique) qui peuvent être réalisées ex-situ ou in-situ en fonction du type de procédé (**Soleimani et Jaberi, 2014**).

I.2.1 Techniques chimiques :

En provoquant des réactions chimiques entre le polluant et le réactif ajouté, les polluants seront détruits ou transformés en forme moins nocive.

Ces techniques peuvent être applicables in-situ ou après excavation des sols. La plus part des procédés se réalisent dans un milieu liquide ou les contaminations soient mobilisés, sol sous forme de (**Bouderhem et Khelil, 2017**).

Cette technique comporte trois méthodes :

Synthèse Bibliographique

I.2.1.1 Les méthodes de mobilisation et d'extraction :

Ces méthodes consistent à utiliser des solutions chimiquement réactives, elles s'appliquent in-situ et se font par aspiration des sols contaminés, la solution chimique va s'infiltrer dans le sol mobilise le polluant et le conduit à la surface où il sera pompé dans les puits et purifié.

I.2.1.2 les méthodes par réactions chimiques :

Ces méthodes sont généralement utilisées pour des produits organiques peu volatiles et qui ne sont pas biodégradables, elles transforment les polluants en formes moins nocives et de mobilités différentes. Elles peuvent être réalisées par des réactions d'oxydation et de réduction.

I.2.1.3 Les méthodes de lavage des sols :

Cette méthode consiste à l'injection de l'eau dans les sols contaminés. En amont de la pollution et la pomper en aval, chargé de polluants.

I.2.2 Techniques physiques :

Cette technique comporte deux types (par évacuation et piégeage) ces derniers à leur tour comportent plusieurs méthodes. Cependant, les procédés d'extraction, de lavage et de confinement sont les plus souvent utilisés (Colin, 2000)

I.2.2.1 les procédés physiques par piégeage :

Ces procédés peuvent être réalisés par différentes méthodes :

- Le confinement consiste à isoler la source des polluants avec des matériaux qui sont utilisés en couverture ou en parois verticales et horizontales. Les polluants sont piégés dans des matrices, formant ainsi un matériau peu préalable et peu réactif.
- la solidification et la stabilisation qui s'applique sur des sols excavés.

I.2.2.2 les procédés physiques par évacuation :

Ces procédés s'appliquent par différentes méthodes :

- **L'excavation** : cette méthode consiste à extraire les sols pollués et les transférés vers des centres de traitement spécialisés ou vers des centres d'enfouissement techniques mais cette méthode présente le risque de propager la pollution.
- **Le pompage** : cette méthode peut prendre beaucoup de temps et elle risque de contaminer la nappe par l'intermédiaire du sol. L'efficacité de pompage peut

Synthèse Bibliographique

dépendre des caractéristiques du milieu et du comportement des polluants.

Cette méthode est utilisée généralement dans le cas des phases de contamination liquide et organique à la surface de la nappe phréatique.

- **Le « venting »** : cette méthode consiste à l'aspiration des polluants dans un sol non saturé afin de pouvoir envoyer dans le sol des flux d'air par l'intermédiaire d'une série de forage localisé en bordures de la zone à traiter. Et à pomper au sein de cette dernière la charge de gaz polluant. Les gaz sortants sont traités à leur tour avant d'être rejetés dans l'atmosphère.

I.2.3 Techniques thermiques :

Dans cette technique, la chaleur est utilisée pour modifier physiquement ou chimiquement les polluants (**Gabet, 2004**). Ce traitement se fait par incinération avec valorisation énergétique ou par vitrification.

I.2.3.1 L'incinération :

C'est une ancienne méthode. Elle consiste à utiliser une haute température afin de détruire les produits polluants et les transformer en gaz carbonique et en vapeur d'eau. Elle se déroule en deux étapes : la volatilisation qui se fait dans un four rotatif à 400 °C et la destruction à plus de 1000°C.

I.2.4 Inconvénient des traitements non biologiques :

Selon **Colombano et al., (2010)**, Les techniques de traitements physiques, chimiques et thermiques présentent plusieurs inconvénients et limites :

- Procédé d'élimination relativement coûteux
- Les installations appropriées et les capacités de traitement sont limitées
- Tous les hydrocarbures ne peuvent pas être dégradés
- Les sites appropriés sont de plus en plus difficiles à trouver
- Consommation énergétique très importante.
- Application restreinte par la législation

I.2.5 Traitements biologiques :

Ce sont des procédés biologique qui utilise des organismes vivant, tel que les microorganismes (bactérie, champignon), ou bien les végétaux (algue, plante, arbre, arbuste) à des fins de dépollution des sols. La décontamination se fait par l'extraction ou dégradation du polluant (**Girard *et al.*, 2005**).

Les deux principales techniques utilisées sont les techniques de bioremédiation et de phytoremédiation

I.2.5.1 Bioremédiation :

La bioremédiation désigne l'ensemble des techniques utilisant les propriétés dépolluantes des microorganismes, Ce qui permettent de décontaminer un site pollué. Elle est subdivisée en plusieurs catégories selon le principe biologique ou mode de dépollution mis en œuvre (**McGrath *et al.*, 2002**). Les principales techniques sont résumées dans le tableau 2

Synthèse Bibliographique

Tableau 2 Techniques biologiques de dépollution des sols retenues par l'ADEME, SD

		Technique	Principe
in situ	Bioremediation (microorganisme)	Biodégradation	Utilisation de la capacité de certains microorganismes à transformer le polluant en substrat (source de carbone, d'énergie)
		Bioimmobilisation	Utilisation de la capacité de certains microorganismes à immobiliser un ou plusieurs composants présents à l'état soluble (bactéries)
		Biolixiviation	Solubilisation et entraînement dans la phase aqueuse par les microorganismes de polluants fixés ou piégés dans le sol
hors site	Bioremediation	Traitement en bioréacteur (bioslurry)	Création d'une boue épaisse en mettant la partie fine du sol dans l'eau et ajout de nutriments pour stimuler la croissance de la population microbienne. Un système d'aération est employé pour les procédés aérobies. En fin de traitement, les phases solides et liquides sont séparées et le sol est remis en place.
In situ et hors site	Bioremédiation	Biorestauration	Ajout de nutriments (azote/phosphore) pour stimuler la croissance des microorganismes indigènes et favoriser la dégradation des polluants
		Bioaugmentation	introduction dans le sol de microorganismes exogènes adaptés aux polluants à traiter
		Biostimulation	Réensemencement de populations prélevées sur le site, dont la croissance a été stimulée en laboratoire ou en bioréacteurs installés sur site

I.3 Phytoremédiation :

Simplement dit, la phytoremédiation c'est l'utilisation des plantes et des microorganismes qui leurs sont associés pour nettoyer l'environnement (Pilon-Smits 2005). Ces techniques sont employées pour le traitement des sols, boues, sédiments, effluents liquides ou gazeux. La phytoremédiation s'appliquent aux polluants organiques mais aussi inorganiques comme les métaux lourds ou les radioéléments (Cunningham *et al.*, 1995 ; Dechamp et Meerts, 2003).

I.3.1 Principe :

La phytoremediation repose sur l'interaction de ses trois : plante, sol et micro-organismes. C'est des techniques in situ (pouvant être implantées directement sur le site contaminé) 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 (Pilon-Smits, 2005).

I.3.2 Techniques de phytoremédiation :

La phytoremédiation regroupe divers mécanismes, basés sur différents principes et sont discutés dans la figure 1 :

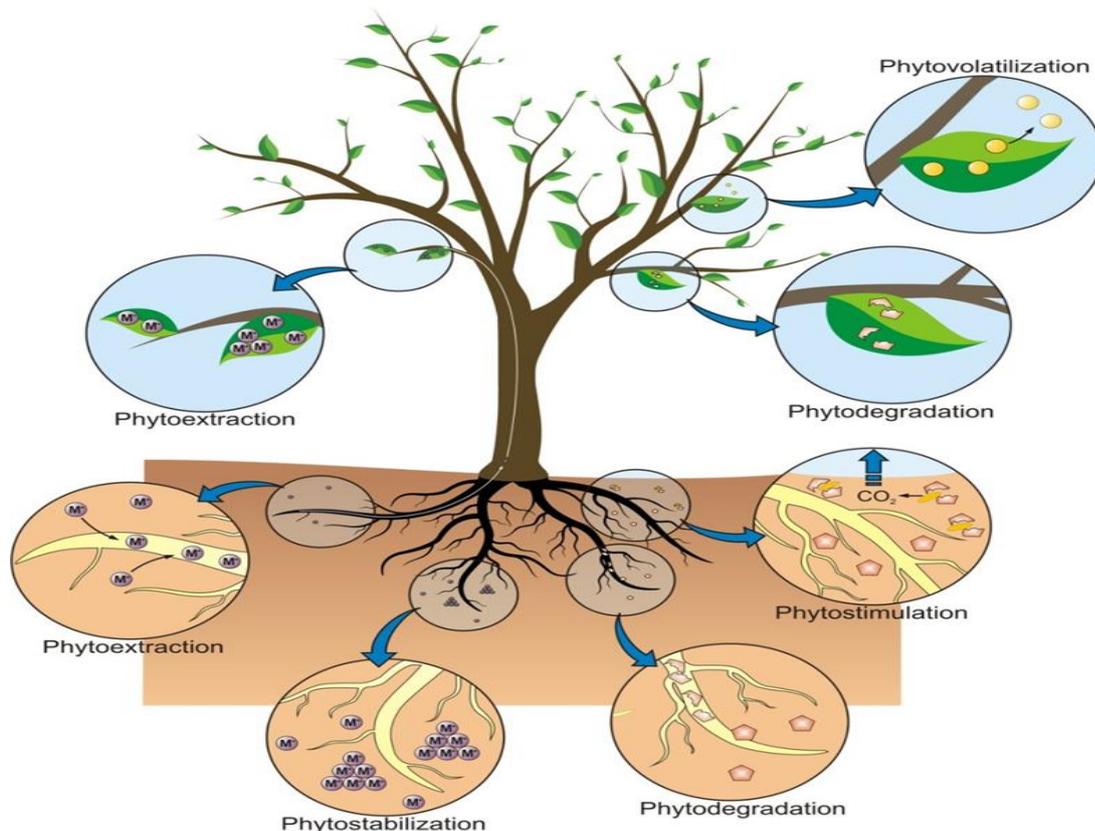


Figure 1 : Les différents mécanismes de la phytoremédiation des sols (Alchimia, 2016).

Synthèse Bibliographique

I.3.2.1 Phytoextraction :

La phytoextraction est une méthode utilisant les plantes hyper accumulatrices (dont certaines peuvent être facilement modifiées génétiquement afin d'améliorer leur capacité de nettoyer le sol des polluants). Leurs racines extraient les polluants du sol pour ensuite les stocker au niveau des parties aériennes (tiges et feuilles), puis récolte des plantes et incinération. Lorsque cette phytoextraction s'effectue en milieu liquide, on parle alors de rhizofiltration. La phytoextraction est la méthode de phytoremédiation la plus utilisée (**Ghosh et Singh, 2005**).

I.3.2.2 Phytostabilisation :

Son but est d'utiliser des plantes pour immobiliser les contaminants dans le sol, grâce à l'absorption et à l'accumulation dans les racines, cette absorption et la précipitation au niveau racinaire provoquera une stabilisation physique du sol, empêchant ainsi la dispersion des contaminants dans les eaux de surface et souterraines (**Montandon, 2013**). Cette technique n'a pas pour but de décontaminer le sol mais de réduire les conséquences sur la santé de l'homme.

I.3.2.3 Phytovolatilisation :

Il s'agit d'une technique qui utilise des plantes à forte évapotranspiration, pour extraire les polluants du sol et les transformer en éléments volatils, qui sont ensuite libérés par les feuilles dans l'atmosphère. De cette manière, les polluants sont décomposés en composants moins ou non toxiques avant d'être rejetés (**Koller, 2009**).

Son avantage c'est qu'elle ne nécessite pas de récolte de biomasse car les contaminants sont disperser dans l'atmosphère.

I.3.2.4 Phytodégradation :

La phytodégradation désigne l'association plante / microorganisme pour dégrader les polluants organiques dans le sol, via l'activité métabolique au niveau des parties aériennes et / ou racinaires ou à l'extérieur 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; Schwitzguébel et al., 2011**). Grâce à ces processus, les polluants organiques sont dégradés et incorporés dans la plante ou rejetés dans le sol.

Les deux termes phytostimulation et phytodégradation sont souvent utilisés indifféremment mais en effet La phytodégradation c'est la dégradation des composés par le Métabolisme de la plante quant à la phytostimulation c'est la stimulation de la flore du sol qui capable de dégrader les composés organiques (**Chaineau et al., 1995**).

I.3.3 Bénéfice, limite et contrainte de la phytoremediation :

➤ **Avantage :**

La technique présente plusieurs avantages par rapport aux technologies traditionnelles telles que pomper et traiter les eaux souterraines contaminées et l'excavation du sol et le traitement hors sol. Qui sont :

- Coût relativement faible : selon **Wan *et al.*, (2016)** la phytoremédiation peut entraîner des économies de 50 à 80% par rapport aux technologies traditionnelles.
- Plus de 800 espèces végétales concernées
- Esthétiquement plaisant
- Technique « passive », le soleil est le seul apport énergétique
- Caractère polyvalent traiter divers types de produits dangereux.

➤ **Inconvénient :**

Comme toutes autres méthodes de remédiation des contaminants nocifs pour l'environnement, la phytoremédiation présente ses limites et contraintes (**Macek *et al.*, 2000 ; Susarla *et al.*, 2002 ; Vaziri *et al.*, 2013**) Qui sont :

- Longue durée du processus
- Dépendante du climat
- technologie encore jeune aux applications industrielles peu nombreuses.
- Les contaminants accumulés dans les feuilles peuvent encore être libérés dans l'environnement.

I.3.4 Une plante phytoremédiane :

Une plante phytoremediante c'est une plante capable de participer à la dépollution des sols contaminés sur lesquels elle pousse. Pour y parvenir elle met en œuvre différentes stratégies.

I.3.5 Critères de choix des plantes phytoremédiantes

La réussite du processus de la phytoremediation dépend du choix de la plante (**Merkel *et al.*, 2004 ; Vaziri *et al.*, 2013**). Cette dernière doit avoir une croissance rapide, une forte production de biomasse et des enzymes de dégradation. La plante choisie doit avoir la capacité de bioaccumuler les contaminants (**Ernst, 2000 ; Glass, 2000**). Elle doit être une plante de la

Synthèse Bibliographique

région ou plante avec une grande adaptation à l'environnement du site pollué (**Baker et Brooks, 1989 ; Ebbs et al., 1997**).

Les légumineuses sont plus efficaces dans la biodégradation des hydrocarbures (**Fezani et Khider, 2007**), ils ont la capacité de réhabiliter les sols pollués. (**Kellas, 2008**) et d'améliorer leur qualité (**Ait Tayeb et Titouche, 2011**).

I.3.6 Généralités sur les légumineuses :

Les légumineuses constituent une vaste famille caractérisée par le grand nombre de genres et d'espèces (environ 650 genres et 1 800 espèces) et par la valeur nutritionnelle des plantes qu'elles contiennent. Certains d'entre eux ont des graines riches en huile comestible comme le soja et les arachides ; tandis que d'autres ont la particularité de contenir une grande quantité de protéines (haricots, fève, pois, etc.) (**Ravohitrarivo, 1988**)

Compte tenu de leur aptitude à fixer l'azote atmosphérique, les légumineuses produisent des protéines en abondance (leurs grains contiennent 3 fois plus de protéines que ceux des céréales), sans fertilisation azotée. Elles représentent pour les populations un apport en protéines, une source de revenu (huile, gomme, ...), de fourrage (luzerne, trèfle, ...) et de bois (Acacia, Dalbergia, Pterocarpus, ..). Ainsi, les légumineuses couvrent globalement 66% des besoins de subsistance des communautés rurales dans les pays en voie de développement, tout en assurant un maintien durable de la fertilité des sols et de l'équilibre des écosystèmes.

I.3.7 Vicia faba L.

La fève est une plante annuelle du climat méditerranéen. Elle appartient à la famille des fabacées, Elle est cultivée par l'Homme depuis le Néolithique (7000 ans avant J.C), elle est originaire des régions méditerranéennes du Moyen-Orient. Mathon (1985), Selon **Péron (2006)**, la fève, le pois et la lentille sont les plus vieilles espèces légumières introduites en agriculture (10.000 ans). Cette plante figure parmi les légumes les plus anciennement cultivées, elle est citée comme étant d'un usage fréquent pour les offrandes funéraires (**Laumonier, 1979**).

À partir de son centre d'origine, la fève s'est propagée vers l'Europe, le long du Nil, jusqu'en Ethiopie et de la Mésopotamie vers l'Inde. L'Afghanistan et l'Ethiopie deviennent par la suite, les centres secondaires de dispersion (**Cubero, 1974**).

I.3.7.1 Les caractéristiques de la fève

La fève est une plante diploïde ($2n= 12$) et partiellement allogame (Wang *et al.*, 2012). Ses feuilles sont composées-pennées, et sont alternes sur la tige de section carrée. Les stipules bien visibles en forme dentées (Chaux et Foury, 1994), Ses fleurs, disposées en grappe, sont blanches avec un point noir sur les ailes, zygomorphes et hermaphrodites, à pollinisation entomophile. Ses fruits sont des gousses, caractéristiques de la famille des Fabacées (Foltete, 2010).

La particularité de cette famille réside dans les racines de la plante, qui présentent des nodules à l'intérieur desquels des cellules géantes abritent une bactérie symbiotique, appartenant à l'espèce *Rhizobium leguminosarum*. Cette bactérie est capable de capter le diazote atmosphérique et de le fixer dans le sol sous forme d'ions utilisables par les plantes (Foltete, 2010).



Figure 2 : Les différentes parties de la fève (*Vicia faba* L.) (Thomé, 1885).

I.3.7.2 Exigences climatiques

- ❖ **Température** : La fève tolère des gelées légères ne dépassant pas -3°C . Des températures plus élevées à 23°C sont nocifs pour la fève, ils provoquent la chute prématurée des fleurs, stimule le développement de maladies virales et fongiques et rend la plante sensible aux attaques par des insectes ravageurs (**CHAUX et FOURY, 1994**). Une température moyenne environ 13°C est optimale pour la croissance de la fève (**ZERIHUN, 2006**).
- ❖ **Lumière** la fève se comporte comme une plante de jours longs qui a un besoin important en luminosité selon **LAUMONIER (1979)**,

I.3.7.3 les exigences pédologiques

- ❖ **Eau** : L'espèce est très exigeante en humidité du sol surtout pendant les périodes initiales de son développement. Il faut un arrosage ou irrigation en cas de faibles précipitations (**Chaux et Foury, 1994**).
- ❖ **Sol** : Selon **Chaux et Foury(1994)**, la fève ne présente pas d'exigence spécifique au regard de la nature des sols. Cependant, la préférence est donnée au sol sablo-argileux humide (**Peron, 2006**), avec un pH neutre à légèrement alcalin (7-8.3). D'après **Marcel, (2002)**, la fève croit mieux sur des sols à texture plus lourde, mais craint les sols légers (risque de sécheresse).

Synthèse Bibliographique

I.3.7.4 Classification botanique :

D'après **Cronquist, (1981)** la classification botanique de la fève est comme suit

RègnePlantae
Sous règne.....Tracheobiota
DivisionMagnoliophyta
ClasseMagnoliopsida
Sous-classeRosidae
OrdreFabales
FamilleFabaceae
Genre..... Vicia
Espèce.....*Vicia faba L*

Chapitre II Matériels et méthodes :

II.1. Partie pratique :

II.1.1 Matériels :

❖ Matériel végétal

L'espèce que nous avons utilisée dans l'essai de phytoremédiation est *Vicia faba* de la famille des légumineuses. D'après **Jessica Hall et al., (2011)**, les légumineuses sont considérées comme des plantes ayant un pouvoir dépolluant. La symbiose de ces légumineuses avec les bactéries de genre *Rhizobium* leur confère un avantage comparé à d'autres espèces. (**Jessica Hall et al., 2011**)

❖ Le Sol :

Pour réaliser notre expérience, un échantillon de sol a été prélevé à partir d'une parcelle cultivée. Et le prélèvement correspond à la couche superficielle du sol (0-10 cm). on se référant à **Mekerri et Tazeboudjt, (2017)**,

❖ Les hydrocarbures

Les hydrocarbures utilisés pour la contamination du sol sont constitué d'un mélange du gasoil et de l'essence super provenant d'une station-service sur Blida.

II.1.2 Méthodes

L'étude consiste en une évaluation morphologique de l'effet toxique des hydrocarbures, notamment gasoil et de l'essence super sur des cultures de fève. Les paramètres auxquels nous nous sommes intéressés sont le taux de levée, les biomasses aériennes et racinaires, la hauteur des plants, le nombre de feuilles.

II.1.2.1 Préparation du sol et mise en place de l'essai

Le sol utilisé pour les cultures a été séché à l'air libre, ensuite broyé manuellement à l'aide d'un mortier puis tamisé à l'aide d'un tamis de 5 mm de diamètre, puis divisé en 6 lots, trois sont contaminé avec un mélange de gasoil et d'essence (6%) [Pollution artificiel du sol (Volume du mélange /Poids du sol (6ml dans 100 g de sol))] d'après les études réalisées par **Salmi et Salmi, (2017)** ; et trois sont non contaminé, utilisé comme témoins, En se référant aux études de **Dali et Iddir, (2018)**.

Matériels et Méthodes

II.1.2.2 Le semis

Le semis a été réalisé le 11/04/2021. Les 6 pots contiennent chaque un 100 g de sol et 3 graines de fève, Le semis a été réalisé à une profondeur de 3cm selon **Mekerri et Tzeboudjt, (2017)**, Un arrosage juste après le semis a été fait pour évacuer l'air compris entre les particules du sol et permettre une bonne germination des graines. L'observation et le suivi de l'évolution de l'état des cultures sont quotidiens avec un arrosage régulier pendant une durée de deux mois référant à **Mekerri et Tzeboudjt, (2017)**

II.1.2.3 Le suivi de la culture :

Des arrosages ont été effectués régulièrement (10 ml d'eau par pot chaque jour)(**Mekerri et Tzeboudjt,2017**), pendant 8 semaines, un désherbage manuel a été effectué à chaque fois que des adventices étaient observées dans les pots.

L'eau infiltrée dans les plaques des pots contaminés est réutilisée pour l'arrosage afin de maintenir la concentration du mélange gasoil et essence super dans le sol.

II.1.2.4 Effets toxiques des hydrocarbures sur le rendement des plantes :

II.1.2.4.1 Test de germination

Ce test est réalisé le 05/04/2021. Selon **Dali et Iddir, (2018)**, Il consiste à planter un total de 10 graines de fève dans des boites de Pétri contenant des papiers absorbent, dans le but de tester la fiabilité des graines de la fève.

Le taux de germination est calculé comme suit:

Le pourcentage de germination : (nombre des graines germées /nombre total de graines)*100



Figure 2 Germinations des graines de *Vicia faba*_(Photo original 2021)

II.1.2.4.2 Le taux de levée:

D'après **Berkouche et Hadjadj(2015)**, Il consiste à calculer le pourcentage de levée dans chaque pot.

Et Il est donné par la formule suivante :

$$\text{Taux de levée} = (\text{nombre des plantes levées} / \text{nombre de graines semées}) \times 100$$

II.1.2.4.3 La hauteur des plantes:

Il consiste à utiliser une règle graduée, et nous mesurons en centimètres (cm) chaque semaine la croissance en longueur des plantes.

II.1.2.4.4 Nombre des feuilles :

Après 2 semaines de culture, nous avons procédé au comptage du nombre des feuilles pour chaque plante en se référant à l'étude de **Mekerri et Tazeboudjt, (2017)**.

II.1.2.4.5 la biomasse aérienne

Il s'agit de prendre le poids de la partie aérienne des plantes dans chaque lot à l'état sec. La partie aérienne étant séparée de la partie racinaire et séchée à l'air libre pendant deux semaines.

II.1.2.4.6 la biomasse racinaire :

C'est le poids de la partie racinaire de chaque plante à l'état sec après séchage à l'air pendant deux semaines, et après les avoir nettoyées.

II.2 Synthèse des travaux :

Dans notre mémoire, nous nous sommes intéressés à l'étude de la synthèse des travaux de six équipes de recherche portant sur la phytoremédiation des sols pollués aux hydrocarbures par la fève

Les travaux concernés par cette synthèse sont représentés dans le tableau (3).

Matériels et Méthodes

Tableau 3 : Quelques travaux de phytoremédiation des sols pollués par les hydrocarbures par la fève

Auteurs et années	Titre de l'article	Paramètre étudié
Hawrot-Paw et Bąkowska, (2014)	growth and development of selected plant species in the phytoremediation of diesel oil contaminated soil	Test de germination, longueur des racines, longueur de la partie aérienne, test de Hawrot and Nowak (résistance de la plante).
Radwan <i>et al.</i> , (2000)	Cropping as Phytoremediation Practice for Oily Desert Soil with Reference to Crop Safety as Food	Teste de germination, longueur des tiges et racine, nombre de feuilles, extraction des lipides et hydrocarbure de la plante,
Hassan El- Tantawy et El-Hilaly, (2001)	Effect of Petroleum oil on the germination, growth and yield of broad bean plants	Teste de germination, longueur des tiges et racine, le pois à l'Etat sec, résidu d'hydrocarbures
Ibrahim Al-Hilali <i>et al.</i> , (2020)	Crude oil affecting growth of plants (castor: <i>Ricinus communis</i> , and bean: <i>Vicia faba</i>) and some soil properties	longueur des tiges, le pois à l'Etat sec, le taux de nitrogène, calcium et potassium ainsi que la chlorophylle
Diab, (2008)	Phytoremediation of Oil Contaminated Desert Soil Using the Rhizosphere Effects of Some Plants	résidu d'hydrocarbures et analyse microbiologiques.
Rao <i>et al.</i> , (2006)	Hydrocarbon Uptake by Roots of <i>Vicia faba</i> (Fabaceae)	Extraction et la détection des hydrocarbures

III. Résultats et discussions

III.1 Effets des hydrocarbures sur le rendement de l'espèce :

III.1.1 le taux de levée :

Selon **Kessi, (2015)**, La levée constitue un premier diagnostic de réussite d'une culture. Une mauvaise levée peut avoir plusieurs causes liées à la gestion des cultures (semis trop profond ou trop peu profond), au climat ou aux parasites. La figure (3) représente le taux de levée des plantes de la fève au niveau du sol non contaminé et le sol contaminé

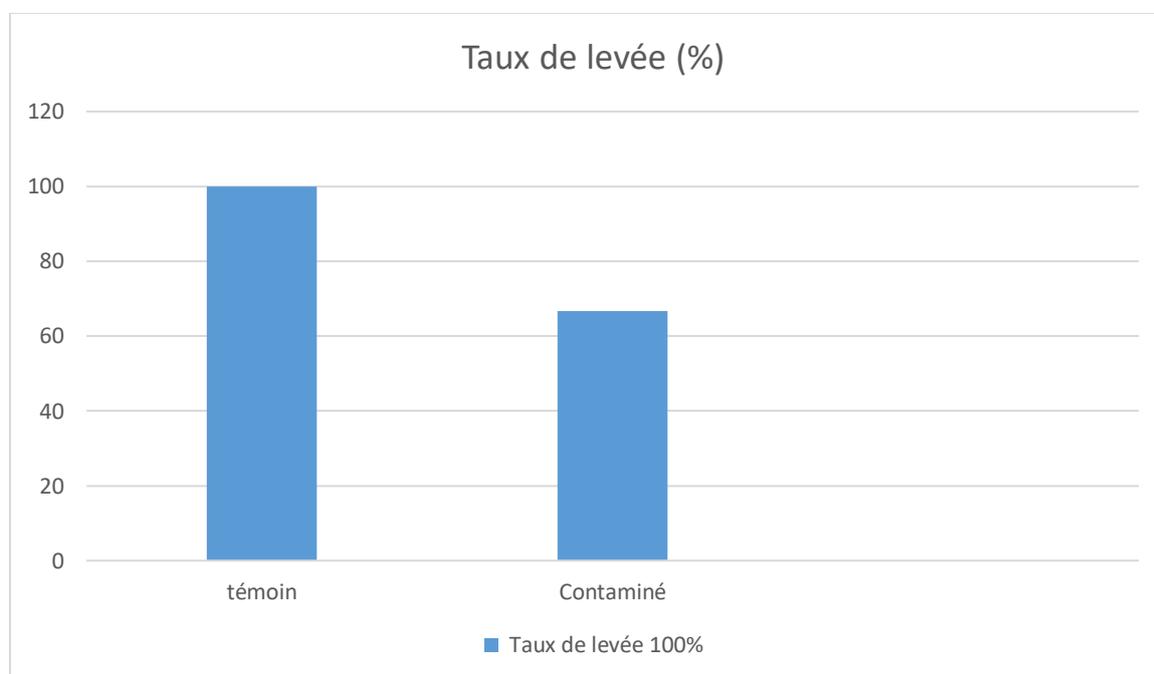


Figure 3 : Taux de levée de la fève, dans un sol témoin et contaminé

❖ Interprétation et discussion :

La levée des graines de la fève a été observée dès le troisième jour après le semis sur le sol témoin et après le quatrième jour sur le sol contaminé. La levée de ces graines a atteint 100% dans le sol témoin et un taux de 66.66% dans le sol contaminé.

D'après ces résultats, nous constatons, une diminution des taux de levées dans les sols Contaminés par le mélange gasoil et essence super par rapport aux sols non contaminés cultivés (la fève) la présence du mélange dans le sol provoque un effet toxique sur la germination des graines de la fève. Selon **Zebiche et Semaani, (2015)**, les hydrocarbures

Résultat et discussions

peuvent pénétrer dans les graines, inhiber les réactions métaboliques et tuer l'embryon par toxicité aiguë directe. Il existe également des preuves solides que l'inhibition de la germination est corrélée à l'hydrophobie des hydrocarbures qui empêche et/ou réduit les échanges d'eau et de gaz, notamment l'oxygène.

III. 1.2 Hauteur des plantes :

Les résultats représentés expriment les moyennes de la hauteur des plantes dans les deux cas

Tableau 4 : Hauteurs moyenne des plants de la fève cultivée sur le sol contaminé et non contaminé en (cm)

Durée	Semaine 1	Semaine 2	Semaine 3	Semaine 4	Semaine 5	Semaine 6	Semaine 7	Semaine 8
Sol témoin	8	15	30	40	50	55	60	63
Sol contaminé	8	10	19	30	40	45	48	50

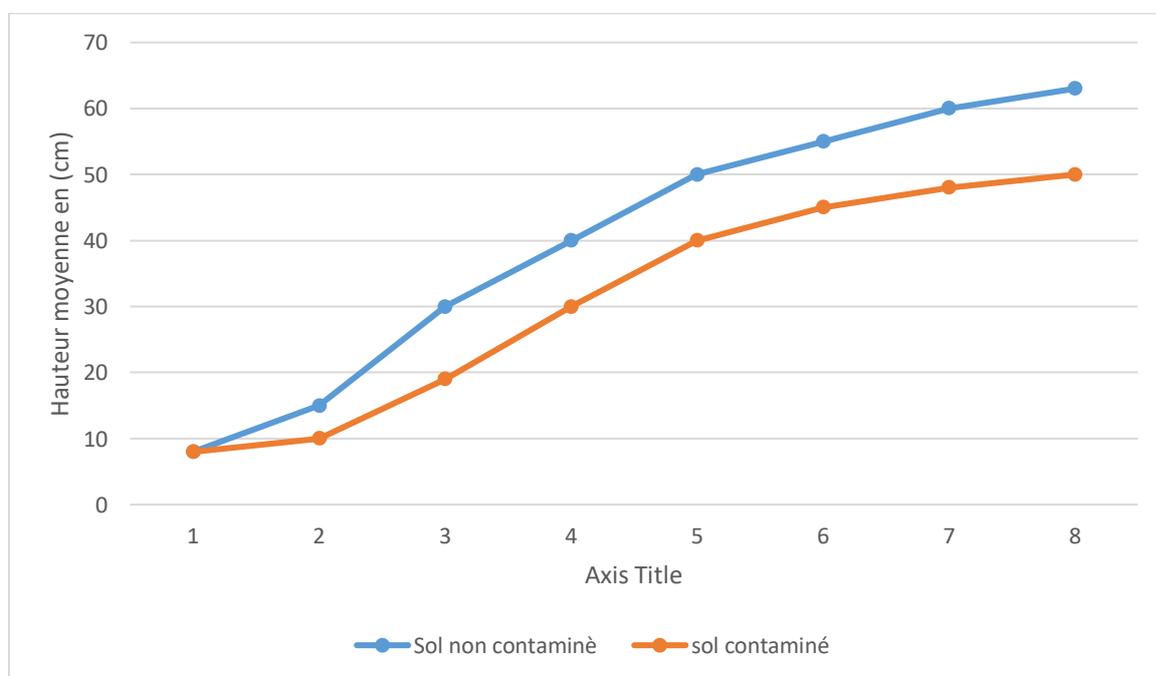


Figure 4 : Hauteur moyenne des plantes de la fève cultivés dans les sols contaminé et non contaminé

Résultat et discussions



Figure 5 : longueur des plantes après 3 semaines de culture dans le sol contaminé (à droite), sol non contaminé (à gauche) (**Photo originale 2021**)

❖ **Interprétation et discussion :**

Nous remarquons une augmentation de la croissance hebdomadaire pendant toute la durée de la culture. En effet, nous avons constaté au bout de la huitième semaine, que les plantes de la fève sur SNC ont atteint Une hauteur moyenne de 63 cm ; alors qu'elle est de 50 cm dans le SC.

Les hauteurs moyennes les plus élevées sont enregistrées par les plantes cultivées dans des sols non contaminés que dans des sols contaminés. Cela permet de dire que la pollution des sols affecte significativement la croissance des plantes de différentes manières, nos résultats sont similaires à ceux trouvés par **Berkouche et Hadjadj, (2015) ; Mekerri et Tzeboudjt, (2017).**

Chaineu et al., (1997), ont associé une croissance réduite des plantes pendant la contamination du sol par des hydrocarbures avec un déficit en éléments nutritifs, un manque d'absorption d'eau et de nutriments et un changement des propriétés du sol causé par hydrocarbures.

Résultat et discussions

III. 1.3 Nombres de feuilles :

Les résultats concernant le nombre moyen des feuilles de l'espèce cultivée dans le sol non contaminé et le sol contaminé sont représentés dans la figure (6) et le tableau (5)

Tableau 5 : L'évolution de nombres moyens de feuilles de la fève dans les sols contaminés et non contaminés au bout de deux mois

	La fève	
	SNC	SC
1^{ère}.S	0	0
2^{ème}.S	3.6	3.1
3^{ème}.S	10.21	6.6
4^{ème}.S	22.68	12.89
5^{ème}.S	29.90	17.33
6^{ème}.S	35	21.76
7^{ème}.S	39.55	28.5
8^{ème}.S	46.88	34.33

Résultat et discussions

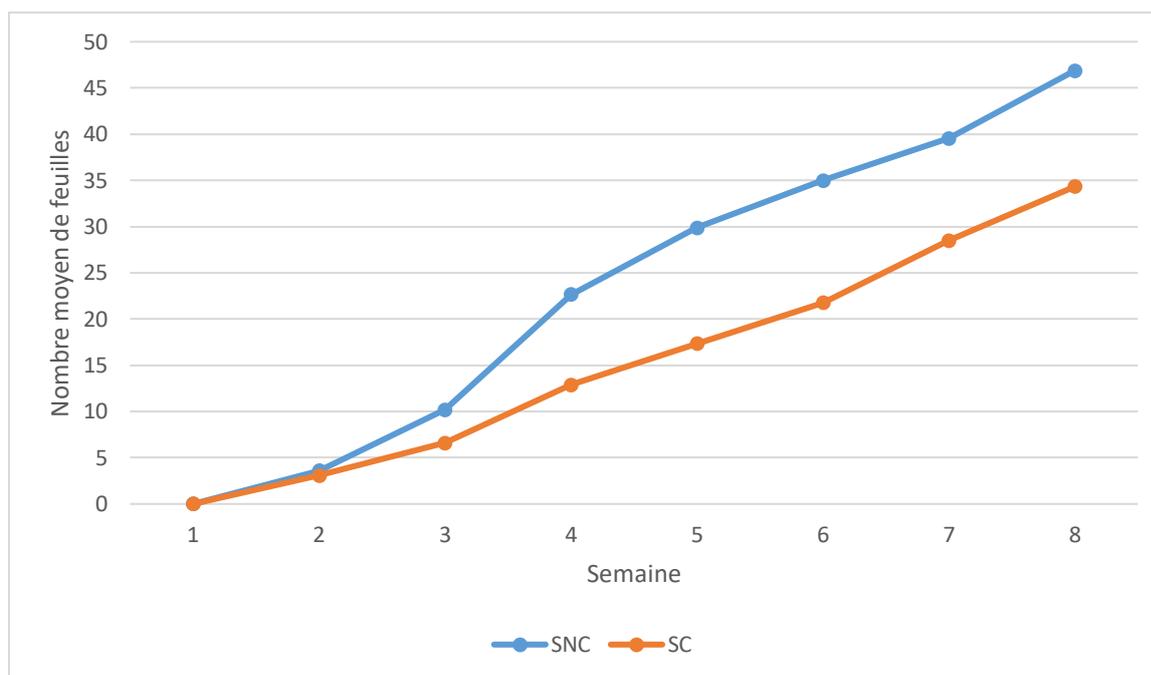


Figure 6 : Nombre moyen des feuilles de l'espèce (fève) cultivés dans les sols contaminé et non contaminé

❖ Interprétation et discussion :

L'effet toxique de l'essence super et du gasoil a bien été exprimé chez les feuilles de l'espèce *V. faba*. On note pour la septième semaine de culture de fève le nombre moyen de feuilles cultivé dans les sols non contaminée est de 39, pendant que le nombre moyen des feuilles de fève cultivée dans un sol contaminé est de 28.5. Aussi nous remarquons une nette diminution de la surface foliaire et jaunissement des feuilles des plante cultive dans un sol contaminé Cela peut être dû aux changements physico-chimique du sol qui influent par la suite sur le système foliaire. La présence de ces contaminants dans le sol entraine une faible infiltration de l'eau dans le sol, ce qui va affecter le développement des feuilles, (Njoku *et al.*,2009).

De tous nos résultats de l'effet des hydrocarbures sur le rendement de la plante, il est conclu que Pour s'adapter au stress, la plante peut éviter les dommages en réduisant la croissance, (Zhu,2002). En effet, le retard du développement permet à la plante d'accumuler de l'énergie pour lutter contre le stress avant que le déséquilibre entre l'intérieur et l'extérieur du corps ne s'aggrave à un point où les dommages seront irréversibles confirme (Mortet, 2019).

III. 1.4 Biomasse aérienne :

La figure représente la biomasse aérienne moyenne des plantes cultivées dans le sol contaminé (SC) et témoin (SNC)

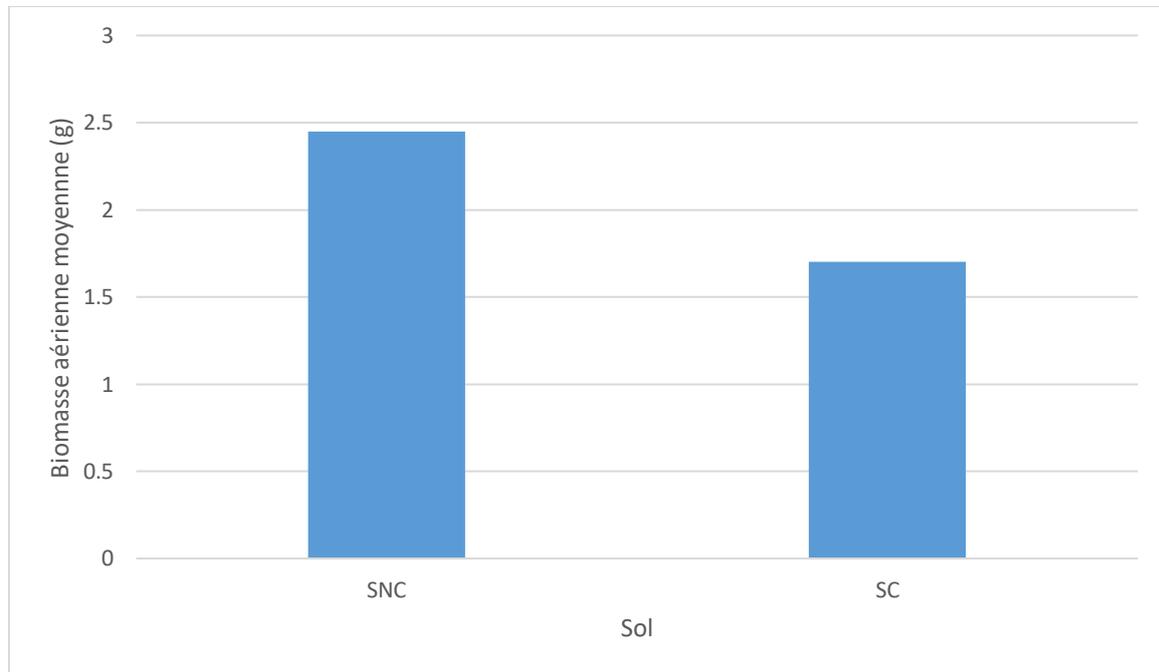


Figure 7 : Biomasse aérienne moyenne des plantes

Nous avons enregistré pour, la fève une biomasse aérienne moyenne de 2.45g dans le sol non Contaminé, Elle est légèrement inférieure à celle enregistrée dans le sol contaminé avec une Valeur de 1.7g.

III.1.5 Biomasse racinaire :

Les résultats de la biomasse racinaire moyenne de la fève cultivée dans le sol contaminé et non contaminé sont représentés dans la figure (8) :

Résultat et discussions

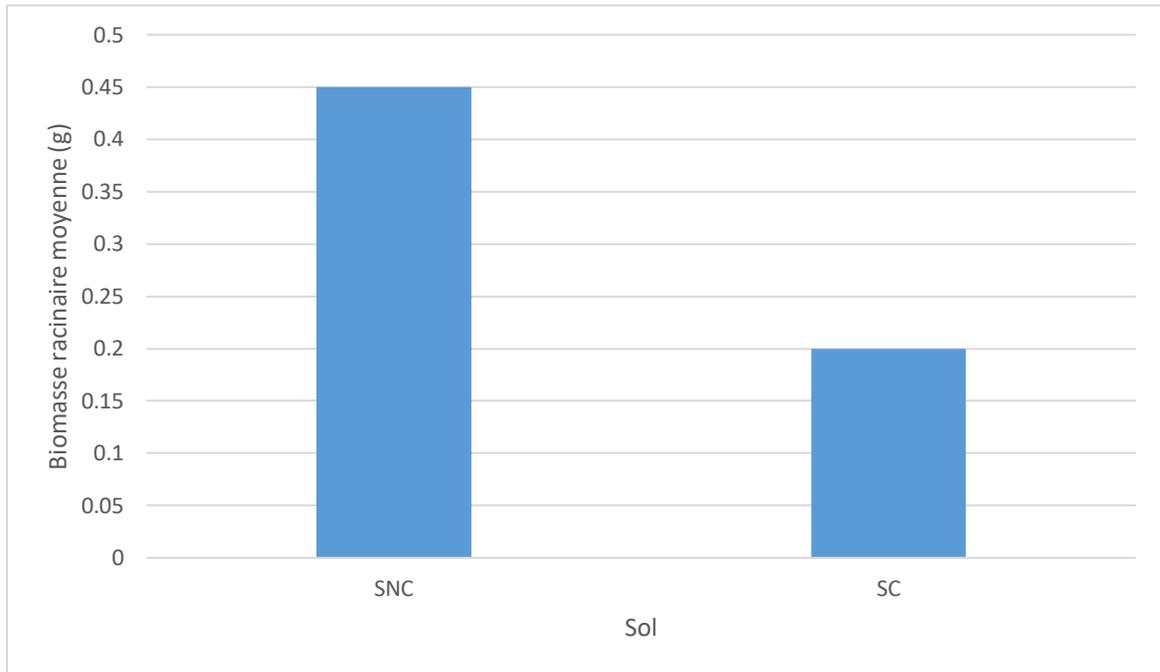


Figure 8 : Biomasse racinaire moyenne des plantes



Figure 9 : partie racinaire de la fève cultivée dans un sol contaminé (photo original 2021)

❖ Interprétation et discussion :

Résultat et discussions

D'après les résultats de la biomasse racinaire moyenne des plantes dans le sol contaminé et non contaminé, une nette influence de la présence de mélange de l'essence super et du gasoil dans le sol se manifeste par une diminution remarquable de la biomasse racinaire moyenne de la plante. *V. faba* présentent une valeur de 0.45 g dans le sol non contaminé contre une valeur de 0.2g dans le sol contaminé.

Nous remarquons que pour la biomasse aérienne il n'y a pas de différences significatives entre sol contaminé et le sol non contaminé. Par contre pour la biomasse racinaire nous avons remarqué une différence significative entre le sol contaminé et le sol non contaminé. Cela indique que l'effet toxique du mélange essence super et du gasoil a été plus exprimé sur la croissance de la partie racinaire que sur la partie aérienne.

Nos résultats concernant la biomasse aérienne sont similaires avec ceux de (Ogbo *et al.*,2009) qui ont trouvé que la contamination du sol par le pétrole brut n'affectait pas la biomasse végétale de *Paspalum scrobiculatum*. Ils sont également similaires à ceux obtenus par Nait Abdelaziz, (2014) pour *V. faba* et *Medicago sativa* et ceux obtenus par Belhocine, (2016), qui a constaté que la contamination par les carburants n'influe pas sur la biomasse aérienne de *C. comosum*.



Figure 10 : partie aérienne et racinaire de la fève cultivée dans un sol contaminée (photo original 2021)



Figure 11 Les plantes de la fève cultivé dans un sol non contaminé. (Photo original 2021)

III.2. Synthèse des travaux :

III.2.1 résultats :

- **l'étude de Hawrot-Paw et Bąkowska, 2014 :**

Dans cette recherche ils ont étudié l'effet de la contamination du sol par le gasoil à 1% sur la croissance de la fève. Le sol utilisé est un sol limoneux à pH 6.78 et le temps d'expérimentation va de 7 jours jusqu'à 112 jours. Les paramètres utilisés sont le Test de germination, longueur des racines, longueur de la partie aérienne, Et Les résidus de gasoil ont été déterminés par la méthode gravimétrique selon la norme polonaise PN-75/C-04573/10 (The research content of extractable in organic solvents) sur l'évaluation de la teneur en substances extraites avec des solvants organiques. Les résultats montrent que la présence de gasoil a d'abord réduit le nombre de graines germées, Un taux de 100% a été observé dans le sol non contaminé et 98% pour le sol contaminé par le gasoil. Le développement de la partie racinaire et la partie aérienne a été affecté jusqu'au 28ème jour dans le cas des racines, et jusqu'au 56ème jour dans le cas des parties aériennes, on déduit grâce au test de Hawrot and Nowak que Les valeurs maximales de la résistance de la fève à la présence de contamination dans le sol, ont été déterminées aux

Résultat et discussions

56e et 112e jours de l'expérience. Le taux de dégradation des hydrocarbures a été mesuré par rapport à la présence de composés sensibles à l'extraction de l'éther dans le sol, au début de la première semaine il y a une dégradation importante des hydrocarbures par le sol cultivé comparé au sol non cultivé mais Après 112 jours, la teneur en composés sensibles à l'extraction à l'éther dans le sol à fève était plus élevée par rapport aux sols non végétalisés de plus de 32 %.

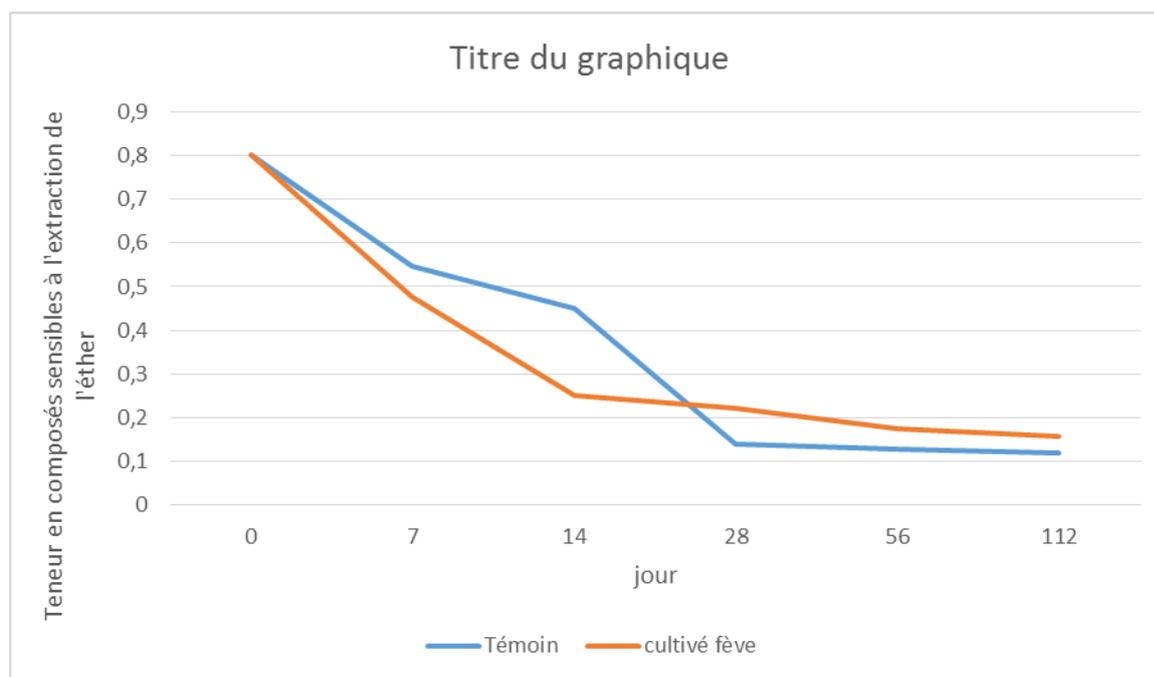


Figure 12 Teneur moyenne en composés sensibles à l'extraction à l'éther

Ils ont alors conclu que les plantes pouvaient avoir commencé à produire des substances qui ont entravé la dégradation des polluants, ou des changements se sont produits dans l'environnement du sol qui ont entraîné une moindre activité de la population de micro-organismes décomposant les substances pétrolières. Enfin dans cette étude la fève n'est pas considérée comme une plante utile pour la phytoremédiation des sols limoneux contaminés par le gasoil.

- **l'étude Radwan *et al.*, 2000 :**

L'objectif de cet article, est de connaître si la culture de la fève dans un sol sablonneux contaminé par le pétrole brut, peut réduire la quantité d'hydrocarbure dans le sol, et l'autre objectif c'est de faire une analyse chimique des plantes cultivées dans un sol contaminé pour en

Résultat et discussions

déduire si elle peut être consommable pour l'homme et l'animal. Le sol utilisé a été contaminé à 1%, 5% et 10% par le pétrole brut.

Après avoir testé la germination de *Vicia faba* on note 89% pour un sol non contaminé 82% sol contaminé à 1% et de 49% pour un sol contaminé à 10%, la longueur des racines et des tiges n'ont pas vraiment été affectée juste dans les premières semaines. Quant au nombre de feuilles, seulement une contamination de 1% a inhibé la croissance des feuilles de plus de 40%, les contaminations plus élevées n'ont pas causé d'autre inhibition.

Après 12 semaines de culture, les résultats des quantités d'hydrocarbures extraits à l'éther diéthylique dans le sol cultivé et le sol non cultivé sont présentés dans le tableau (6).

Tableau 6 : diminution d'hydrocarbures après 12 semaines de culture

Taux de contamination	Hydrocarbures (mg)	
	Sol non cultivé	Sol cultivé (fève)
1	659.8 ± 26	533.3 ± 19
5	2666.4 ± 43	1846.5 ± 32

Les données du tableau (6) montrent que les quantités d'hydrocarbures extraits à l'éther diéthylique des échantillons de sol cultivé contaminé étaient inférieures aux quantités récupérées des échantillons de sol non cultivés contaminés. Ceci montre clairement l'effet de la fève sur la dégradation des hydrocarbures.

Utilisation des racines excisées dans un sol contaminé entraîne une dégradation des hydrocarbures au bout des premiers jours, notant que la dégradation est plus importante quand il s'agit des racines cultivées dans un sol contaminé. Des résultats similaires ont été obtenus en utilisant la plante entière.

Après analyse à la CGL ils ont déduit que les racines et les pousses des plantes de *V. faba* n'étaient pas aussi affectées par la pollution des hydrocarbures que celles des graines, dans lesquelles les proportions d'hydrocarbures à très longue chaîne augmentaient avec l'augmentation de la concentration du pétrole dans le sol. Ces hydrocarbures sont dangereux pour la santé de l'Homme et l'animale.

Résultat et discussions

En conclusion, d'après les recherches de cette étude, *Vicia faba* peut être envisagé pour la décontamination des sols sableux polluer par le pétrole, néanmoins les produit des plantes ne peuvent pas être consommé.

- **L'étude de Hassan El- Tantawy et El- Hilaly, (2001)**

Cette étude a été menée pour déterminer l'influence de diverses concentrations de pétrole sur la germination, la croissance et le rendement de *Vicia faba*. Le sol utilisé est un sol sablonneux à pH 8.52, contaminé par le pétrole de 1% jusqu'à 10%

Les résultats ont démontré que le taux de germination diminuait avec l'augmentation des concentrations de pétrole brut.

Tableau 7 : Effet du pétrole sur la germination des graines de fève

Taux de contamination	Taux de germination
0%	94%
10%	3%

Concernant, Le développement de la partie racinaire et la partie aérienne, Une diminution marquée a été observée par rapport à la plante cultivée dans un sol sain, on note que la hauteur maximale des plantes témoins était environ trois fois plus élevée que celle du niveau de pétrole brut le plus bas. Cela peut être dû à certains constituants de pétrole qui peuvent agir comme régulateurs de croissance.

Les résidus du pétrole ont été déterminé après un séchage du matériel végétale pendant 3 jours dans un four électrique a 65°C, Deux grammes de poudre végétale ont été mélangés avec du sulfate de sodium anhydre et extraits avec 200 ml de chloroforme. Par la suite, les résidus ont été déterminés selon **Chaneau et al., (1995)**. Les résultats obtenue sont irrégulier ils diffèrent d'un niveau de pétrole brut à un autre. Sachant que Les effets indésirables étaient courants et observés sur des individus à forte concentration de pétrole brut (6 % et 8 %).

Généralement, la pollution par les hydrocarbures a un fort effet négatif sur le métabolisme des plantes. Le mode d'action du pétrole sur les plantes est complexe et implique à la fois une toxicité par contact et des effets liés aux interactions du pétrole avec les composants abiotiques

Résultat et discussions

et microbiens du sol. En conclusion, cette recherche montre que le pétrole brut provoque des effets néfastes sur la plante ainsi que sur l'être qui la consomme.

- **L'étude de Ibrahim Al-Hilali *et al.*, (2020)**

L'objectif de cette recherche est de déterminer l'effet du pétrole brut sur certaines propriétés du sol, ainsi que sur la croissance de la plante.

Les échantillons de sol ont été séchés pendant 7 jours à température du laboratoire, et puis tamisée (tamis de 2 mm). La méthode d'évaluation a été faite pour les paramètres suivant : pH du sol, EC, N, P, K, Hu. Et ceux des plantes ont été séchés pendant 14 jours. L'extraction est faite par micro-ondes pour déterminer les hydrocarbures dans les feuilles, Chlo (chlorophylle), N (azote), P (phosphore), K (potassium), longueur de la plante, et le poids sec.

L'analyse du sol contaminé après culture de *Vicia faba* a montré une augmentation de tous les paramètres étudiés, l'augmentation de l'humidité est due au sol qui retient plus d'eau en raison de la présence de pétrole brut dans les couches supérieures du sol (**Ramadan *et al.*, 2017**). Les résultats de la mesure de l'azote dans le sol ont indiqué une augmentation, Et ceci est dû à la forte activité des micro-organismes (**Moubasher *et al.*, 2015**), Concernant le pourcentage des autres paramètres, l'augmentation est insignifiante.

Les résultats de l'analyse des plantes avant et après contamination par pétrole brut sont présentés dans le tableau (8)

Résultat et discussions

Tableau 8 : Résultats de *Vicia faba* avant et après contamination au le pétrole brut.

	<i>Vicia faba</i>	
	Avant	Après
Chl	8.1	11.6
Chlo	7.6	10.8
N	1	1.7
P	5.4	6.4
K	6.4	8
Pois sec	8.5	9.2
Longueur	30	20

Les résultat montrent une augmentation dans les paramètres suivant Chl, Chlo, N, P, K, pois sec et une diminution dans la longueur comparé à la plante cultivée dans un sol non contaminé.

En conclusion, selon cette étude le pétrole brute affecte les propriétés du sol ainsi que la croissance des plantes.

- **L'étude de Diab (2008)**

L'objectif de la recherche est d'étudier, les effets d'une plante légumineuse (*Vicia faba*) sur les changements de la rhizosphère et de son potentiel de dégradation en réponse aux hydrocarbures.

En premier lieu, L'échantillon du sol utilisé dans cet étude est sablonneux, avec PH 7,6 - 7,8. Les hydrocarbures ont été extraits au soxhlet avec chloroforme pendant 8h. L'extrait chloroformique a été évaporé dans un plateau prépesé, et par ailleurs la quantité des hydrocarbures pétroliers a été déterminée, et pour l'analyse microbiologique la méthode habituelle des plaques de dilution ont été utilisée.

Les résultats montrent que le nombre de bactéries, et les champignons est plus élevé dans le sol Cultivé (pollué et non pollué) que dans les sols non cultivés. **Murotova et al., (2003)** ont

Résultat et discussions

expliqué que le succès de phytoremédiation des sols contaminés aux hydrocarbures est lié à la capacité des plantes à améliorer l'activité microbienne dans la rhizosphère

La figure (10) montre un pourcentage de présence de microorganismes dégradeurs des hydrocarbures dans les différents échantillons du sol :

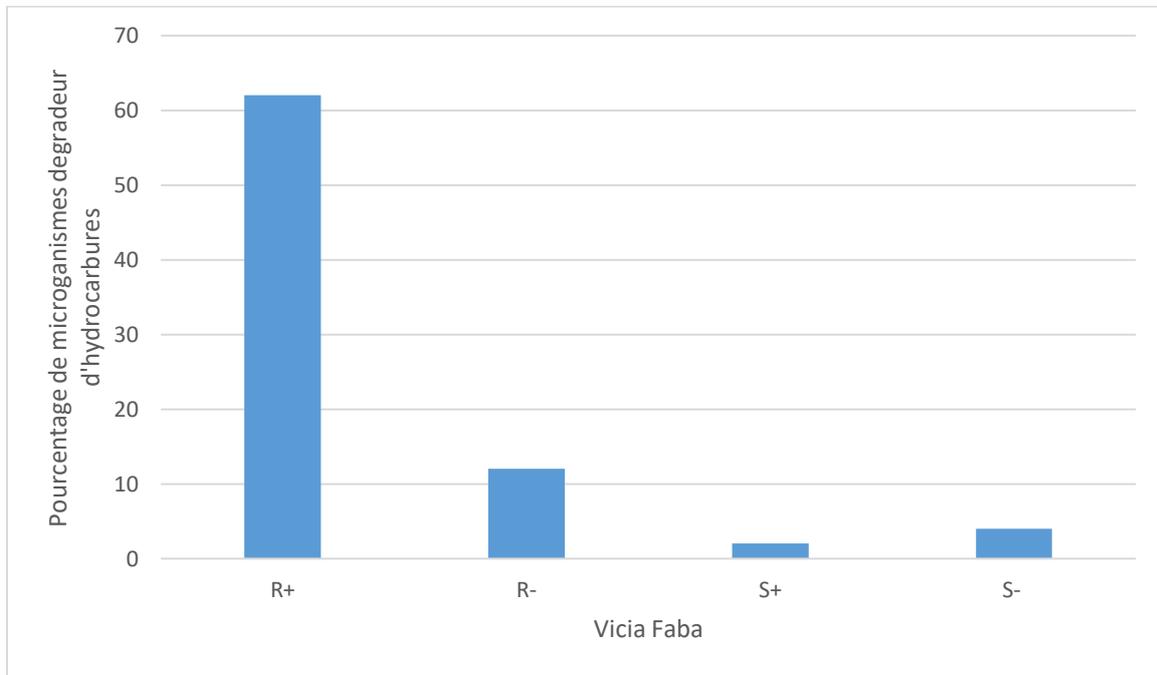


Figure 13 : La présence de microorganismes décomposeurs d'hydrocarbures dans le sol cultivé contaminé (R+), sol cultivé non contaminé (R-), sol non cultivé contaminé (S+), sol non cultivé non contaminé (S-).

Les résultats obtenus ont été pour le sol cultivé contaminé supérieure comparés aux autres échantillons utilisés. On note également que dans les parcelles non polluées, les valeurs (R-/S-) étaient inférieures à celles des parcelles polluées. Le pétrole brut peut être responsable de la stimulation de la croissance de micro-organismes par rapport à l'échantillon témoin.

Cette recherche prouve que la rhizosphère est impliquée dans la dégradation du pétrole brut, en utilisant l'espèce *Vicia faba* dans un sol sableux artificiellement contaminé à 2,2% par le pétrole, on constate, que dans les sols cultivés 30 % du pétrole ont été dégradé contre 10% Pour sol non cultivé. Les résultats ci-dessus conduisent à la conclusion que le pétrole brut a été dégradé dans la rhizosphère de *Vicia faba*, et qu'elle peut être utilisée en phytoremédiation dans les sols pollués du désert. (Diab,2008).

Résultat et discussions

- **L'étude de Rao *et al.*, (2006)**

Le but de cette étude est d'évaluer *V. faba* en tant que plante accumulatrice d'hydrocarbures lorsqu'elle est cultivée dans un sol pollué et d'évaluer si elle peut être utilisée comme bio indicatrice ou non.

Les pots sont séparés en deux groupes (A), (B). Le groupe (a) est composé de 6 pots qui contiennent des graines de *Vicia faba* et un sol non pollué (témoin). Le groupe (B) est composé de 6 pots qui contiennent les graines de *Vicia faba* et un sol pollué à 12.5% par le pétrole brut. La récolte a eu lieu après 6 semaines.

Les racines des groupes A et B ont été séparées de leur partie aérienne. Ensuite pour l'analyse des composés organiques des racines, elle a été faite par chromatographie en phase gazeuse/spectrométrie de masse (GC/MS). Le pétrole brut utilisé a été analysé par GC/MS avec la même procédure.

Les résultats obtenus nous montrent que des hydrocarbures aliphatiques saturés et insaturés ont été identifiés dans le groupe (B), et aucune trace de ces composés n'a été détectée dans le groupe témoin (A). Cela suggère que les racines des plantes cultivées dans des sols pollués par le pétrole ont assimilé ces hydrocarbures. Cependant, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) n'ont pas été trouvés dans les racines des plantes des deux groupes (A), (B). Bien que l'analyse du pétrole utilisé ait montré la présence des deux classes de composés. Cela pourrait être dû au fait que les HAP étant des composés toxiques ne s'accumulent pas dans les racines des plantes, des études de **McGill *et al.*, (1981)** ont rapporté que les hydrocarbures toxiques affectent les structures cellulaires.

Les phénols retrouvés dans les racines du groupe B ont été identifiés à la spectrométrie de masse. Ces composés ont été formés soit directement par les racines des plantes stressées par le pétrole brut soit par des micro-organismes de la rhizosphère puis assimilés par la plante.

Résultat et discussions

En conclusion, Les racines de *V. faba* cultivées dans des sols pollués par du pétrole brut absorbent les hydrocarbures aliphatiques dérivés du pétrole. En revanche, les HAP n'ont pas été absorbés par les racines de *V. faba* probablement en raison de leur forte toxicité à la plante.

III.2.2 Discussion des travaux :

L'objectif de notre travail est de prouver l'efficacité de la légumineuse *Vicia faba* pour la phytoremédiation des sols contaminés par les hydrocarbures. Pour cela nous avons étudié la croissance de *Vicia faba* dans différents types de sols contaminés par différents types d'hydrocarbures.

Le type de contamination d'hydrocarbures et le type de sol ont une influence significative sur la réponse des plantes. Selon l'étude de **Hawrot-Paw et Bąkowska, (2014)** la fève n'est pas recommander pour la dépollution d'un sol limoneux contaminé par 1% de gasoil, et cela s'explique par les colloïdes présents dans les sols limoneux qui s'adsorbent aux hydrocarbures, d'une part peut limiter sa nocivité, et d'autre part elle peut provoquer l'apparition de leur toxicité seulement après un certain temps à partir du moment de la contamination (**Labud, 2007**). Et qui conduit par la suite à une perturbation de la dégradation des hydrocarbures. Aussi Le gasoil présente des propriétés phytotoxiques plus fortes que d'autres carburants, par ex. pétrole brute. Il pourrait constituer une barrière physique, limité l'apport d'eau et d'oxygène à l'intérieur des graines (**Adam, 2002**). En revanche, l'étude de **Radwan et al., (2000)** ont démontré que le *Vicia faba* présente une tolérance allant jusqu'à 10 % du pétrole brut dans les sols sableux et une dégradation significative des hydrocarbures par rapport aux sols non cultivés pollués, ils arrivent donc à la conclusion que le *Vicia faba* peut être envisagé pour la décontamination des sols sableux pollués par le pétrole brut.

Nous remarquons ainsi que l'efficacité de la légumineuse *Vicia faba* pour la dépollution des sols contaminé par les hydrocarbures dépend de type de sol et de hydrocarbures utilisée

Dans l'étude de **Hassan El-Tantawy et El- Hilaly, (2001)** et de **Radwan et al., (2000)**, ils utilisent le même type de sol (sableux) avec le même hydrocarbure (pétrole) pour arriver à des conclusions différentes. **Radwan et al., (2000)** Trouvent un taux de germination de 49% pour un sol sableux contaminé à 10% par le pétrole brut et **Hassan El-Tantawy et El- Hilaly, (2001)** trouvent un taux de germination de 3% pour un sol sableux contaminé à 10% par le pétrole brut.

Résultat et discussions

Cette différence de résultat peut être due à une composition différente du sol, une composition différente du pétrole brut, ou une différence dans la variété de *Vicia faba*.

Ibrahim Al-Hilali et al., (2020) constatent que le pétrole perturbe la composition chimique du sol et des plantes. Ses résultats sont similaires à ceux **d'Diab, (2008)** qui en plus du changement dans la composition des sols cultivés contamine, il a également prouvé que le nombre de micro-organismes décomposeurs d'hydrocarbures a augmenté par rapport aux sols cultivés non contaminés, Le pétrole brut peut être responsable de la stimulation de la croissance de micro-organismes, ou que les plantes peuvent avoir stimulé l'activité microbienne pour améliorer la remédiation (**Reynolds et al., 1999**).

Selon **Rao et al., (2006)** la plante *Vicia faba* accumule dans ses racines les hydrocarbures aliphatiques instauré et saturé, ses résultats concordent avec ceux obtenus de **Radwan et al., (2000)** et de **Hassan El-Tantawy et El- Hilaly, (2001)** qui ont trouvé que les hydrocarbures étaient assimilés par les racines et stockés dans certaines parties des plantes, notamment les graines. Et ils sont arrivés à la conclusion que les plantes cultivées dans des sols pollués sont impropres à la consommation.

En conclusion, La plantes *Vicia faba* est suggérée comme outils de phytoremédiation des zones désertiques contaminées par le pétrole pour plusieurs raisons. Elle peut pousser dans des sols pauvres et tolère des concentrations de pétrole brut jusqu'à 10 %, p/p (**Radwan et al., 1998**). Leurs rhizosphères sont riches en micro-organismes qui utilisent des hydrocarbures (**Radwan et al., 1995**) et dont il a été démontré qu'ils diminuent la quantité d'huile dans le sable (**Radwan et al., 2000**). De plus, les bactéries nodulaires associées à leurs racines enrichissent la rhizosphère en azote atmosphérique, indispensable au développement des organismes qui dégradent les hydrocarbures (**Atlas, 1981**) (**Leahy et Colwell, 1990**). Cependant, la consommation des produits des plantes cultivées dans les sols contaminés peut être dangereuse (**Radwan et al., 2000**) (**Hassan El-Tantawy et El- Hilaly, 2001**).

Conclusion

Conclusion :

A l'heure actuelle, la phytoremédiation est la technique la moins coûteuse et la plus efficace pour la dépollution des sols contaminés par les hydrocarbures.

La fève, étant de la famille des légumineuses, a la capacité d'établir une symbiose avec la bactérie *Rhizobium* qui fixe l'azote atmosphérique, ce qui augmente la fertilité des sols et donc le développement de microorganismes décomposeurs d'hydrocarbures.

Notre travail est composé de deux parties, la première consiste à une évaluation morphologique des effets toxiques du gasoil et l'essence super sur la plante *Vicia faba*, la seconde est une synthèse des travaux antérieurs sur le potentiel phytoremédiant de la fève.

D'après les résultats obtenus de notre partie expérimentale, on constate que la fève a montré une diminution des résultats dans la hauteur des plantes, le nombre des feuilles et la biomasse aérienne et végétale avec des chiffres de (63, 46.8, 2.4, 0.45) pour le sol témoin, et de (50, 34.5, 1.7, 0.2) pour le sol contaminé. Ceci nous mène à dire que La fève a toléré cette concentration d'hydrocarbures.

Pour les résultats de la partie synthèse nous avons trouvé que la fève peut tolérer des concentrations de pétrole brut jusqu'à 10 %, et aussi elle stimule la rhizosphère en augmentant le nombre de microorganismes, on note pour le sol contaminé cultivé un pourcentage de microorganismes décomposeurs de 62% et pour le sol contaminé non cultivé un pourcentage de 2%. Pour le sol limoneux contaminé par le gasoil la fève n'a pas montré un pouvoir dépolluant.

D'après cette étude théorique *Vicia faba* représente une ressource appréciable pour la dépollution des sols sablonneux contaminés par le pétrole brut.

Pour mieux comprendre les mécanismes impliqués dans la phytoremédiation et pour compléter ce travail, nous proposons quelques perspectives de recherche

- Faire des essais en plein champ sur des sols contaminés afin d'étudier l'efficacité de cette technique dans les conditions naturelles.

Conclusion

- Réaliser une étude approfondie sur les microorganismes du sol (notamment le genre *Rhizobium*) pour mieux comprendre le processus de fixation symbiotique de l'azote et son implication dans la tolérance de la fève aux hydrocarbures.
- Étudier les mécanismes enzymatiques impliqués dans la dégradation et la transformation des hydrocarbures qui permettra d'optimiser les techniques de phytoremédiation.
- Faire une étude génétique sur la fève pour comprendre la résistance de cette espèce à une certaine concentration des hydrocarbures dans le sol

Liste de références :

Liste de références

(A)

- Adam G, Duncan H. Influence of diesel fuel on seed germination. Environ Pollut. 2002;120(2):363-70. DOI : 10.1016/s0269-7491(02)00119-7.
- Adam, G., Duncan, H. The Effect of Diesel Fuel on Common Vetch (*Vicia Sativa L.*) Plants. Environmental Geochemistry and Health 25, 123–130 (2003).DOI : <https://doi.org/10.1023/A:1021228327540>.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), 1995. Toxicological profile for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Atlanta, GA, USA , 454 p.
- AIT TAYEB Z. ET TITOUCHE H., 2011.Toxicité des hydrocarbures vis-à-vis des plantes (*Phaseolusvulgaris L* et *Cicer arientinum L*), du sol et essai de phytoremédiation. Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Biologie U.M.M.T.O. Pp 22-68.
- Alchimia, 2016. La phytoremédiation : du Cannabis pour nettoyer les sols. Blog Growshop Alchimia.
- Atlas, R.M. 1981. Microbiol degradation of petroleum hydrocarbons: An environmental perspective.

(B)

- Baker, A.J.M. And Brooks, R.R. Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metal elements: A review of their distribution, ecology, and phytochemistry. Biorecovery, 1989, vol. 1, p. 81-126
- Belabbas A.2017.Etude de lessivage des sols contaminés par les produits pétroliers dans le milieu saharien. Thèse de doctorat, Université Kasdi Merbah – Ouargla, 116 p.
- Belhocine H., 2016 : Etude de l'efficacité d'une plante ornementale (*Chlorophytum comosum*) dans la décontamination d'un sol pollué aux hydrocarbures. Mémoire d'ingénieur d'état en Biologie. U.M.M.T.O. 30p.
- Bergue, J.M., Mérienne, D., 1986. La pollution des sols par les hydrocarbures. Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées, Vol. 146: 57-66.

Liste de références :

- Berkouche H et Hadjadj H.2015. Essai de phytoremédiation d'un sol pollué aux hydrocarbures en utilisant la fève, les pois et l'orge. Mémoire de master, université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 49p.
- Bertrand, J.C., Mille, G., 1989. Devenir de la matière organique exogène. Un modèle : les hydrocarbures. In : Bianchi, M., Marty, D., Bertrand, J. C. et Gauthier, M. J. Editions, Les microorganismes dans les écosystèmes océaniques. Masson (Paris), chapitre, Vol. 13: 343-385
- Bouchez M.,blanchet D., vandecasteele J , P. (1995). Degradtion of polycyclic aromatic hydrocarbons by pure strains and by defined strain associations: inhibition phenomena and cometabolism. Appl Microbial. 86: 421-428.
- Boudershem, A., Khelil, A.O.E.H., 2017. Isolation and characterization of crude oil degradingbacteria from soil of Ouargla (Algeria).
- Bourkache R., Boussenu N., 2015 : Essai de phytoremédiation in-situ et ex-situ d'un sol pollué par les hydrocarbures. Cas des stations-service. Mémoire d'ingénieur d'état en Biologie. U.M.M.T.O. 38p.
- BRGM (2004) - Saada A., Nowak C., Coquereau N. : Etat des connaissances sur l'atténuation naturelle des hydrocarbures. , rapport intermédiaire : résultat de la phase 1. Rapport BRGM/RP- 53739-FR, 107p. < https://www.itopf.org/uploads/translated/TIP_9_2012_FrenchFINAL.pdf >. 2012. 317-332.

(C)

- Chaineau C.H., Morel J.L.,Oudot J .,1997 :phytotoxicity and plant Uptac of fuel oil hydrocarbons .J.Environ.Qual.Vol 26.Pp : 1478-1483.
- Chaineau, C. H.; Morel. J. L. & Oudot, J. 1995. Microbial degradation in soil microcosms of fuel oil hydrocarbons from drilling cuttings. Environ, Sci. Technol. 29:1615-1621.
- Chaineau, C., Morel, J., Oudot, J.,1996. Land treatment of oil-based drill cutting in an agricultural soil. Journal of Environmental Quality, Vol. 25: 858- 867.
- Chakraborty, R., Coates, J.D., 2004. Anaerobic degradation of monoaromatic hydrocarbons. Appl. Microbiol. Biotechnol. 64, 437–446.

Liste de références :

- Chalghmi H. Etude de la pollution marine par les hydrocarbures et caractérisation de leurs effets biochimiques et moléculaires sur la palourde de *Ruditapes* sp, Thèse de doctorat de l'université de Paris. 2015, 318p.
- Choux Et Foury.,1994-production des légumières. Edition Tec et Doc.paris.pp17.47.
- Colin F. Pollution localisée des sols et des sous-sols par les hydrocarbures et par les solvants chlorés. Edition Tec et Doc. Paris : 2000, 417pp.
- Colombano, S., Saada, A., Guerin, V., Bataillard, P., Bellenfant, G., Beranger, S., Hube, D., Zornig, C., Girardeau, I., 2010. Quelles techniques pour quels traitements - Analyse coûtsbénéfices.
- 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. pp: 1733-1737.
- Cronquist A., 1981. An intddgrated systeme of classification of flowing plants, Columbia University. Press New York.
- Cubero J.L., 1974. On the evolution of *Vicia faba*, Editions INVUFLEC, Paris, 503p.
- Cunningham, S.D., Berti, W.R., Huang, J.W., 1995. Phytoremediation of contaminated soils, *Trends in Biotechnology*, Vol.13 (9): 393-398.

(D)

- Dali M Et Iddir O.2018. Etude physico-chimique et microbiologique d'un sol pollué par les hydrocarbures avant et après traitement par phytoremédiation. Mémoire de master, université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 34p.
- Dechamp C., Meerts P., 2003. La phytoremédiation : Panacée pour l'environnement ou menace pour la biodiversité. *Les Naturalistes belges*, n°82. P : 135- 148.
- Diab E. A. 2008: Phytoremediation of Oil Contaminated Desert Soil Using the Rhizosphere Effects. *Global Journal of Environmental Research*. Vol. 2. N° 2. pp: 66-73.

Liste de références :

(E)

- Ebbs, S.D.; Lasat, M.M.; Brandy, D.J.; Cornish, J.; Gordon, R. And Kochian, L.V. Heavy metals in the environment: Phytoextraction of cadmium and zinc from a contaminated soil. *Journal of Environmental Quality*, 1997, vol. 26, p. 1424-1430.
- Ernst, W.H.O., Revolution of Metal Hyperaccumulation and Phytoremediation Hype, *New Phytol.*, 2000, vol. 146, pp. 357–358.

(F)

- Fezani S. et Khider F., 2007. Toxicité des hydrocarbures vis-à-vis des plantes, leurs effets sur la microflore du sol. Mémoire d'Ingénieur d'Etat en caractérisations et leurs Biologie. U.M.M.T.O. 73 p.
- Foltete A. S. (2010). Effets génotoxiques et systèmes de détoxification chez *Vicia faba* L. (Fabaceae) dans le cadre de l'évaluation des sols pollués. Thèse de doctorat. Université de Paul Verlaine-Meets. 245 p.

(G)

- Gabet S., 2004. Remobilisation d'hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) présents dans les sols contaminés à l'aide d'une tension d'origine biologique. Thèse de doctorat. Université de Limoges. 177P.
- Ghosh M., Singh S.P. (2005b) A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of its products *Applied Ecology and Environmental Research* 3: 1-18.
- Girard C., Walter C., Rémy J. C., Berthlin J., Morel J. 2005 : Sol et environnement. Edition DUNOD, Paris. 529 pp.
- Glass D.J. (2000) Economic potential of phytoremediation, In: *Phytoremediation of toxic metals using plants to clean up the environment*, Raskin I., Ensley B.D. (eds). New York: Wiley J. & Sons, 15-31
- Goswami P, Singh H. D. (1991) Different modes of hydrocarbon uptake by two *Pseudomonas* species.

Liste de références :

(H)

- Hall J, Soole K, Bentham R. Hydrocarbon phytoremediation in the family Fabaceae--a review. *Int J Phytoremediation*. 2011 Apr;13(4):317-32. Doi : 10.1080/15226514.2010.495143. PMID: 21598795.
- Harmens, H., Foan, L., Simon, V., Mills, G., 2013. Terrestrial mosses as biomonitors of atmospheric POPs pollution: a review. *Environ. Pollut. Barking Essex 1987* 173, 245– 254.
- Hassan El- Tantawy and A. El- Hilaly. 2001. Effect of Petroleum oil on the germination, growth and yield of broad bean plants. *Taeckholmia* 21(2): 269-282.
- Hawrot-Paw, M. ; Bąkowska, T. (2014). Growth and development of selected plant species in the phytoremediation of diesel oil contaminated soil. *Environment Protection Engineering*, 40(4) DOI : 10.5277/epe140401.

(I)

- Ibrahim Al-Hilali, B.M. Theyab, M.A. H, Noor-Alhuda. Hasan et al., Crude oil affecting growth of plants (castor: *Ricinus communis*, and bean: *Vicia faba*) and some soil properties, *Materials Today* 2020. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.921>.
- ITOPF. Elimination et traitement des hydrocarbures et des débris. Disponible sur *Microbiol. Rev.* 45, 180–209.

(K)

- Kellas K., 2008. Toxicité des hydrocarbures vis-à-vis du blé dur (*Triticum durum*), du pois vivace (*Lathyrus latifolius*) et de la microflore du sol. Essai de phytoremédiation. Mémoire d'ingénieur d'Etat en Biologie. U.M.M.T.O. 69 p
- Kessi L, 2015. Contribution a la phytoremediation de sol des bourbiers de Hassi Massaoud, Mémoire de master, université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 45p.
- Koller E. 2009 : Traitement des pollutions industrielles (eau, air, déchet, sol, boues). Edition DUNOD. 2 ème Edition. Paris. 424 pp.

Liste de références :

(L)

- Labud V, Garcia C, Hernandez T. Effect of hydrocarbon pollution on the microbial properties of a sandy and a clay soil. *Chemosphere*. 2007 Jan;66(10):1863-71. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2006.08.021.
- Larabi T., Moussi K., 2016 : Effet de la dose du semis de la fève (*Vicia faba* L.) sur l'efficacité de la phytoremédiation d'un sol pollué par les carburants. Mémoire d'ingénieur d'état en Biologie. U.M.M.T.O. 32p.
- Laumonier R., 1979 : Cultures légumières et maraîchères, Tome III. Ed.J.B. BAILLIERE, 276p.
- Leahy, J. G. Colwell R. R., (1990). Microbial Degradation of hydrocarbons in the Environment. *Microbiol. Rev.*, 54: 305-315.
- Lecomte P. (1998) – Les sites pollués: traitement des sols et des eaux souterraines. Lavoisier, 204 p
- Lee S-H, Lee W-S, Lee C-H, Kim J-G. 2008. Degradation of phenanthrene and pyrene in rhizosphere of grasses and legumes. *J Hazard Mater*. 153: 892–898.

(M)

- Macek, T., Macková, M., Kás, J., 2000. Exploitation of plants for the removal of organics in environmental remediation. *Biotechnol. Adv.* 18, 23–34.
- McGill, W. B.; Rowell, M. J., & Westlake, D. W. S. 1981. Biochemistry, ecology, and microbiology of petroleum complements in soil. In: *Soil Biochemistry* (E.A. Paul and J.N. Ladd, eds.) Vol. 5, pp. 229. Marcel Dekker, New York.
- McGrath, S.P., Zhao, F.J., Lombi, E., 2002. Phytoremediation of metals, metalloids, and radionuclides. *Advances in Agronomy*, Vol. 75: 1-56.
- Meagher, R.B. 2000. Phytoremediation of toxic elemental and organic pollutants. *Curr Opin Plant Biol*. 3: 153–162.
- Mekerri Ket 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.

Liste de références :

- Mortet, A .2019.étude du rôle de quelques plantes Graminées et Légumineuses dans la phytoremédiation des sols pollués par les hydrocarbures. Thèse de doctorat, université abdelhamid ben badis mostaganem, 177p
- Moubasher, H.A. Hegazy, A.K. Mohamed, N.H. Moustafa, Y.M. Kabil, H.F. Hamad,A.A. Phytoremediation of soil polluted with crude petroleum oil using *Bassia scoparia* and its associated rhizosphere microorganisms, *Int.Biodeterior. Biodegrad* 98 (2015) 113–120.
- Murotova, A., T. Hubner, N. Narula, H. Wand, O. Turkovskaya, P. Kusch, R. John and W. merbach, 2003. Rhizosphere Microflora of Plants used for the phytoremediation of bitumrn-contaminated soil. *Microbiol. Res.*, 158: 151-161.

(N)

- Nait Abdelaziz B., 2014 : Evaluation de la toxicité de différents carburants vis-à-vis de quelques légumineuses. Mémoire de Magister. U.T.M.M.O. 81 p.
- NjokuK.I., Akinola M.O. et Obuh B.O., 2009: Phytoremediation of crude oil contaminated soil. Edition marslandpress. 87p.

(O)

- Ogbo E. M., Zibigha M. Odogu G., 2009 : The effect of crude oil on growth of the weed (*Paspalum scrobiculatum* L.) – Phytoremediation potential of the plant. *African Journal of Environmental Science and Technology*. Vol. 3. N° 9. pp. 229-233.
- Origo, N., Wicherek, S. & Hotyat, M. (2012). Réhabilitation des sites pollués par phytoremédiation. *Vertigo*, 12(2). DOI : <https://doi.org/10.4000/vertigo.12633>.

(P)

- Palmroth MRT, Pichtel J, Puhakka JA. 2002. Phytoremediation of subarctic soil contaminated with diesel fuel. *Bioresource Technol.* 84(3): 221–228.
- PERON J-Y, 2006. Références. Production légumières. 2ème Ed. DUC, Paris, 613p.
- Picot André, Montandon Frédéric. Écotoxicochimie des hydrocarbures. Edition Lavoisier. Paris : 2013, 668p.
- Pilon-Smits, E., Phytoremediation. *Annu. Rev. Plant Biol.* 2005, 56, 15-39.

Liste de références :

- Pradhan, S. P.; Conrad, J. R.; Paterek, J. R.; Srivastava, V. J. J. *Soil Contam.* 1998, 7, 467.
- Prince, R. C., R. M. Garrett, R. E. Bare, M. J. Grossman, T. Townsend, J. M. Suflita, K. Lee, E. H. Owens, G. A. Sergy, J. F. Braddock, J. E. Lindstrom Et R. R. Lessard. 2003. « The Roles of Photooxidation and Biodegradation in Long-term Weathering of Crude and Heavy Fuel Oils ». *Spill Science & Technology Bulletin*, vol. 8, no 2, p. 145-156.

(R)

- Radwan, S. S., Al-Awadhi, H., Sorkhoh, N. A., and El-Nemr, I. M. 1998. Rhizospheric hydrocarbon-utilizing microorganisms as potential contributors to phytoremediation for the oily Kuwaiti desert. *Microbiol. Res.* 153, 247–251.
- Radwan, S. S., Sorkhoh, N. A., and El-Nemr, I., 1995. Oil biodegradation around roots. *Nature* 376, 302.
- Radwan, S. S.; Al-Awadhi., H.; El-Nemr, I. M. (2000). Cropping as a Phytoremediation Practice for Oily Desert Soil with Reference to Crop Safety as Food. *International Journal of Phytoremediation*, 2(4), 383–396. DOI :10.1080/15226510008500046.
- Radwan, S. S.; Dashti, Narjes; El-Nemr, I. M. (2005). Enhancing The Growth Of *Vicia Faba* Plants By Microbial Inoculation To Improve Their Phytoremediation Potential For Oily Desert Areas. *International Journal of Phytoremediation*, 7(1), 19–32. DOI: 10.1080/16226510590915783.
- Rahmani D. et Slimani M., 2012. Toxicité des hydrocarbures vis-à-vis de la fève (*Vicia faba* L.) et du sainfoin (*Hedysarum flexuosum* L.) Essai de phytoremédiation. Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Biologie. U.M.M.T.O. 68 p.
- Ramade F., 1992. Précis d'écologie. 6^{ème} édition Masson. Paris. 300 p.
- Rao, C.V.N., Afzal, M., Malallah, G. et al. Hydrocarbon Uptake by Roots of *Vicia faba* (Fabaceae). *Environ Monit Assess* 132, 439–443 (2007). DOI : 10.1007/s10661-006-9546-5.
- RAVOHITRARIVO C, 1988. Programme de recherche sur les légumineuses à graines de Madagascar. In : DEMARLY Y. Les légumineuses à graines de Madagascar. Stockholm : FIS: 95-99

Liste de références :

- Reynolds CM, Wolf DC, Gentry TJ, Perry LB, Pidgeon CS, Koenen BA, Rogers HB, Beyrouthy CA. 1999. Plant enhancement of indigenous soil micro-organisms: a low-cost treatment of contaminated soils. *Polar Rec.* 35: 33–40.

(S)

- Salmi S et Salmi F. 2017. Contribution à l'étude de l'efficacité de deux variétés de chlorophytum comosum et de Vicia faba dans la décontamination de sol artificiellement pollué et l'influence de la pollution aux hydrocarbures sur leurs caractères phénoliques. Mémoire de master, université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 42p.
- Schwitzguébel 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? *Environ Sci Pollut Res.* Vol. 18. pp: 842-856.
- Semple, K.T., Morriss, A.W.J., Paton, G.I., 2003. Bioavailability of hydrophobic organic contaminants in soils: fundamental concepts and techniques for analysis. *Eur. J. Soil Sci.* 54, 809–818.
- Sharifi M., Sadeghi Y., Akbarpour M., Germination and growth of six plant species on contaminated soil with spent soil, *Int. J. Environ. Sci. Tech.*, 2007, 4 (4), 463.
- Slimani M., 2015. Effet de la concentration du pétrole brut sur la croissance de la fève (*Vicia faba* L.), du pois (*Pisium sativum* L.) et de la luzerne (*Medicago sativa* L.) Essai de phytoremédiation. Mémoire de Master en Biologie. U.M.M.T.O. 53 p.
- Soleimani, M., Jaberi, N., 2014. Comparison of Biological and Thermal Remediation Methods in Decontamination of Oil Polluted Soils | *OMICS International*. 6
- Soltani M. Distribution lipidique et voies métaboliques chez quatre souches Gram négatif hydrocarbonoclastes, variation en fonction de la source de carbone. Thèse de doctorat de l'université de Paris. 2004, 281pp.
- Stroud JL, Paton GI, Semple KT. 2007. Microbe-aliphatic hydrocarbon interactions in soil: implications for biodegradation and bioremediation. *J Appl Microbiol.* 102: 1239–1253.
- Susarla S., Medina V., McCutcheon S., 2002. Phytoremediation: An ecological solution to organic chemical contamination. Pp 647-658.

Liste de références :

(T)

- Técher D., 2011 : Réhabilitation de sols pollués par des HAP grâce aux bactéries associées à la rhizosphère de *Miscanthus x giganteus*. Thèse du doctorat. Université Paul Verlaine de Metz. 307p
- Thomé OW. 1885. Flora von Deutschland, Österreich und der Schweiz Gera, Germany

(V)

- Vandecasteele, J. Microbiologie pétrolière. Edition Technip : 2005, 795pp.
- Vaziri, A., Panahpour, E., Beni, M.H.M., 2013. Phytoremediation, a Method for Treatment of Petroleum Hydrocarbon Contaminated Soils. *Int. J. Farming Allied Sci.* 2, 909–913.
- Verdin, A., Lounes Hadj seheraoui, A., & Roger , D. (2004). Les agents de bioremediation des sols pollués par les hydrocarbures polycyclique aromatique. *Revue francophone d'écologie industrielle. Laboratoire de mycologie/phytopathologie/environnement (M.P.E.) - Calais. Université du Littoral (U.L.C.O.) - Côte d'Opale (N 37), 09 p*

(W)

- Wang, Z., Et M. F. Fingas. 2003. « Development of oil hydrocarbon fingerprinting and identification techniques ». *Marine Pollution Bulletin*, vol. 47, no 9-12, p. 423-452.
- Wiltse CC, Rooney WL, Chen Z, Schwab AP, Banks MK. 1998. Greenhouse evaluation of agronomic and crude oil-phytoremediation potential among Alfalfa genotypes. *J Environ Qual.* 27: 169–173

(Z)

- Zaki, H.E.M., M.M.M. Amr, Y.A.E. Youssef, M.H. Adel and M.M.S. Ramadan (2017). Studies on pea (*Pisum sativum* L.) growth and productivity under agroforestry system: 2. Yield and seed quality of pea under alley cropping system with two types of trees. *Journal of basic and applied research.*, 3(1): 1-9.
- Zebiche B et Semaani L. 2015. Effet de la concentration du pétrole brut sur la croissance du pois (*Pisum sativum*) et de la luzerne (*Medicago sativa* L.) Essai de phytoremédiation. Mémoire de master, université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, 35p.

Liste de références :

- Zhu, J.K., 2002. Salt and drought stress signal transduction in plants. *Annual Review of Plant Biology*, 53(1): 247-273.