



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des sciences exactes et des sciences de la nature et de la
vie
Département des sciences de la nature et de la vie
Filière : Sciences biologiques

Référence / 2020

MÉMOIRE DE MASTER

Spécialité : Microbiologie Appliquée

Présenté et soutenu par :
Ben kherfia Imene

Le: mercredi 7 octobre 2020

Contribution à l'étude de la biodégradation des hydrocarbures par le processus de la phytoremédiation

Jury :

Mme.	Dendouga Wassila	MCB	Université de Biskra	Président
Dr.	Benameur Nassima	MCB	Université de Biskra	Rapporteur
M.	Hebal Hakim	MAA	Université de Biskra	Examineur

Année universitaire : 2019 - 2020

Merciements

Je tiens à remercier le bon Dieu le tout puissant de m'avoir donné patience et courage pour mener à terme ce travail.

Ma gratitude s'adresse à ma promotrice Dr. Benameur Nassima, Maitre de conférences à l'université Mohamed Kheider de Biskra.

Je tiens à remercier aussi très sincèrement les membres du jury :

Le présidente Mr l'examinatrice Mellepour avoir bien voulu accepter d'évaluer ce travail.

Mes vifs remerciements vont aussi aux personnels du laboratoire d'ITIDAS, notamment à Melle Fadlaoui Soumia et Melle Ghord Samira. Pour son aide et l'accueil qui m'accordé.

La réalisation de ce travail n'aurait pas été possible sans votre soutien, moral, et affectif. En fin un grand merci à l'ensemble de mes enseignants, tout le personnel de la faculté des sciences exactes et des sciences de la nature et de la vie de l'université de Mohamed Kheider de Biskra.

Dédicace

A mes très chers parents.

A toute ma famille. Je vous dédie cette mémoire en guise de reconnaissance.

A mes amies, de la promotion de Microbiologie Appliqué 2019-2020.

Table des matières

Merciements	
Dédicace	
Table des matières	
Liste des Tableaux	I
Liste des Figures	II
Liste des abréviations	IV
Introduction	1

Première partie : partie bibliographie

Chapitre1. hydrocarbures	3
1.1 Définition des hydrocarbures	3
1.2 Définition de pétrole	3
1.3 Nature et origine	3
1.4 Classification	3
1.4.1 hydrocarbures aliphatiques	4
1.4.2 hydrocarbures cycliques	4
1.4.3 hydrocarbures aromatiques	4
1.4.3.1 hydrocarbures aromatiques monocycliques	4
1.4.3.2 hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)	4
1.5 Devenir des hydrocarbures dans l'environnement	4
1.5.1Evaporation	4
1.5.2Solubilisation	4
1.5.3 Emulsification	4
1.5.4 Sédimentation	5
1.5.5Photo-oxydation	5
1.5.6Biodégradation	5
1.6 Sources de contamination du sol	5
1.7 Impacts des hydrocarbures sur l'environnement	6
1.7.1Action Sur les sols	6
1.7.2 Action sur la microflore	6
1.7.3 Action sur la flore	6
1.7.4 Action sur la chaine alimentaire	6

1.7.5 Action sur la santé humaine	7
Chapitre 2. réhabilitation des sols pollués	8
2.1 Moyens de décontamination	8
2.1.1 Méthodes physiques.....	8
2.1.2 Méthodes chimiques	8
2.1.3 Méthodes thermiques	8
2.1.4 Méthodes biologiques	8
2.1.4.1 bioremédiation	9
2.1.4.2 Phytoremédiation	9
a. espèces utilisées dans la phytoremédiation	10
b. techniques de phytoremédiation.....	11
b.1 phytostabilisation.....	11
b.2 phytovolatilisation.....	11
b.3 phytoextraction.....	11
b.4 phytodégradation.....	11
C. avantages.....	12
D.inconvénients.....	12

Deuxième Partie : Partie Expérimentale

Chapitre3. Matériel et méthodes.....	15
3.1 Matériel utilisés	14
3.1.1 Matériel végétal	14
3.1.2 Sol.....	17
3.1.3 Hydrocarbures	17
3.2 Méthodes.....	18
3.2.1. Localisation géographique du site expérimental	18
3.2.2 Test de germination	19
3.2.3 Préparation du sol et mise en place de l'essai	21
3.3 Effets des légumineuses (Fève et Haricot) sur les propriétés physico-chimiques et biologiques de sols contaminés par le pétrole brut	22
3.3.1 Analyse physique.....	22
3.3.1.1 Analyse granulométrique.....	22

3.3.1.2 Teneur en eau ou humidité.....	25
3.3.2 Analyse physico-chimique du sol.....	26
3.3.2.1 Potentiel d'hydrogène (pH)	26
3.3.2.2 Conductivité électrique (CE)	27
3.3.2.3 Calcaire total	28
3.3.2.4 Matière organique (MO).....	29
3.3.3 Teneur en quelques sels minéraux (potassium, calcium et Phosphore)	30
3.3.3.1 Dosages de calcium [CA]	30
3.3.3.2 Dosages de phosphore	32
3.3.3.3 Dosages de potassium	32
3.3.4 Analyse microbiologique	33
3.4.Evaluation de la quantité des hydrocarbures dans le sol.....	36
3.5 Effets toxiques des hydrocarbures sur le rendement des plantes.....	38
3.5.1 Taux de levée.....	38
3.5.2 Hauteur des plantes.....	38
3.5.3Biomasse végétale	38
3.5.3.1 Biomasse aérienne.....	39
3.5.3.2 Biomasse racinaire	39
3.5.4 Longueur des racines	39
3.5.5 Nombre des feuilles	39
3.6 Test de germination.....	39
Chapitre 4 : Résultats et discussion	41
4.1 Résultats de tests de germination	41
4.2 Résultats d'Analyses physicochimiques sur le sol à l'état initial Error! Bookmark not defined.	
4.2.1 Sol non pollué.....	Error! Bookmark not defined.
4.2.2 Sol pollué	45
4.3 Effet des hydrocarbures sur le sol	47
4.3.1 Humidité.....	47
4.3.2 Potentiel d'hydrogène	49
4.3.3 Conductivité électrique	50
4.3.4 Calcaire total.....	53
4.3.5 Matière organique.....	54

4.3.6	Teneur en carbone.....	55
4.3.7	Teneur en quelques sels minéraux.....	57
4.3.7.1	Teneur en calcium, magnésium et en potassium.....	57
4.3.7.2	Teneur en phosphore.....	60
4.4	Effets des hydrocarbures sur le rendement des espèces	62
4.4.1	Taux de levée des plantes.....	62
4.4.2	Hauteur des plantes.....	64
4.4.3	Biomasse végétale	67
4.4.3.1	Biomasse aérienne.....	67
4.4.3.2	Biomasse racinaire	68
4.4.4	Longueur des racines	69
4.4.5	Nombre de feuilles.....	70
4.5	Efficacité de la phytoremédiation :.....	72
4.5.1	Taux d'extraction des hydrocarbures.....	73
4.5.2	Test de germination	75
Conclusion général		
Conclusion	778
Références bibliographiques		
Bibliographie	81
Annexes	
Résumés	

Liste des Tableaux

Tableau 1. Différentes techniques de bioremédiation (VIDALI, 2001).....	9
Tableau 2 . Résultats d'analyses physico-chimiques de sol no pollué (à l'état initial).	43
Tableau 3. résultats des analyses physico-chimiques de sol pollué (de départ).	45
Tableau 4. Pourcentage de l'humidité dans les sols testés.....	47
Tableau 5. Valeurs de pH enregistrés dans les sols testés.	49
Tableau 6. Valeurs de Conductivité électrique obtenus dans chaque pot pour les sols testés en $\mu\text{s}/\text{umho}$	51
Tableau 7. Taux de minéralisation calculé pour chaque pot dans les sols testés en g/L.	52
Tableau 8. Valeurs de Calcaire total obtenus dans chaque pot pour les sols testés .	53
Tableau 9. Teneur en Matière organique obtenus dans chaque pot pour les sols testés en (%).....	54
Tableau 10. Teneur en carbone obtenu dans chaque pot pour les sols testés en (%). .	56
Tableau 11. Teneur en dans chaque pot pour les sols testés en (meq /L).....	57
Tableau 12. Teneur en Magnésium obtenu dans chaque pot pour les sols testés en (meq/L).	58
Tableau 13. Teneur en potassium obtenu dans chaque pot pour les sols testés en (mg/ml).	59
Tableau 14. Teneur en phosphore obtenu dans chaque pot pour les sols testés en (mg/ml).	61
Tableau 15. Taux de levée pour les deux espèces.....	63
Tableau 16. Hauteurs moyenne des plants de la fève cultivée sur le sol contaminé et non contaminé en (cm).	65
Tableau 17. Hauteurs moyenne des plants de l'haricot cultivé sur le sol contaminé et non contaminé en (cm).....	65
Tableau 18. La biomasse aérienne moyenne des deux espèces dans les deux sols en(g).....	67
Tableau 19. La biomasse racinaire moyenne des deux espèces dans les deux sols en(g).....	68
Tableau 20. La longueur moyenne des racines de l'haricot et la fève dans les sols contaminés et non contaminés en (cm).....	69
Tableau 21. L'évolution de nombres moyens de feuilles de l'haricot et la fève dans les sols contaminés et non contaminés au bout de deux mois.	70
Tableau 22. Résultats de l'extraction des hydrocarbures dans le sol pollué avant et après les cultures et dans le sol témoin.....	73
Tableau 23. Le taux de germination de blé dans les différents sols contaminés (contaminé cultivés par la fève, par l'haricot et le sol contaminé non cultivé)	75

Liste des Figures

Figure 1. Différentes techniques de phytoremédiation (Pilon-Smits, 2005).	11
Figure 2. Fève (<i>Vicia faba</i> L.) (source : site web1).	15
Figure 3. Haricot (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) (Source : site web 2).	16
Figure 4. Blé dur (<i>Triticum durum</i> L.) (source : site web 3)	17
Figure 5. Site de prélèvement des hydrocarbures (Google earth, 2020).	18
Figure 6. Localisation du site expérimental (Google earth, 2020).	19
Figure 7. Test de germination de semis pour les deux espèces (le haricot et la fève)..	19
Figure 8. Dispositif expérimental de l'essai conduit sous serre.	21
Figure 9. L'essai qui conduit sous serre (photo originale).	22
Figure 10 . Réalisation de l'Analyse granulométrique par l'utilisation de la pipette de robinson (photo originale).	25
Figure 11. Détermination de la teneur de l'Humidité.	26
Figure 12. Détermination de pH à l'aide d'un pH mètre.	27
Figure 13. Détermination de la conductivité électrique par un conductimètre.	28
Figure 14. Détermination de La calcaire total par la méthode de Woodward (1961), par le calcimètre de Bernard.	29
Figure 15. Détermination de la matière organique à l'aide de titrage.	30
Figure 16. Détermination de La teneur en éléments Ca ⁺⁺ et Mg ⁺⁺ avec un titrage par EDTA. (1 & 2 pour le Mg ⁺⁺ et 3 & 4 le Ca ⁺⁺)	31
Figure 17. Dosage de phosphore à l'aide d'un spectrophotomètre.	32
Figure 18. Dosage de potassium par photomètre à flamme	33
Figure 19. Schéma explicatif des protocoles adoptés pour l'isolement des bactéries et des	35
Figure 20. Étapes de l'évaluation de la quantité des hydrocarbures dans le sol avant et après 2 mois.	37
Figure 21. Détermination de la biomasse végétale (aérienne et racinaire) avant (A) et après (B) un séchage de 105° à l'étuve	38
Figure 22. Test de germination de blé (<i>Triticum durum</i> L.) dans les différents sols contaminés (CCUF, CCUH, CNCU)	40
Figure 23. Les résultats de test de germination de l'haricot (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) et de la fève (<i>Vicia faba</i> L.) (photo originale).	41
Figure 24. Taux de germination de l'haricot <i>Phaseolus vulgaris</i> et de la fève <i>Vicia faba</i>	42
Figure 25. Résultats de taux d'humidité dans les différents sols testé en (%).	48
Figure 26. pH du sol cultivé par les deux espèces et du sol témoin.	50
Figure 27. Conductivité électrique moyenne des sols cultivés par les deux espèces et du sol témoin.	51
Figure 28. Taux de minéralisation moyenne des sols cultivés par les deux espèces et du sol témoin.	53
Figure 29. Taux moyenne du calcaire total des sols cultivés par les deux espèces et du sol témoin.	54

Figure 30 .Taux de la matière organique dans les sols cultivés par les deux espèces et du sol	55
Figure 31 .Teneur en carbone dans les sols cultivés par les deux espèces et du sol ...	56
Figure 32 . La teneur moyenne en calcium dans les sols cultivés par les deux espèces et du sol Témoin.	58
Figure 33 .Teneur moyenne en Magnésium dans les sols cultivés par les deux espèces et du sol Témoin.	59
Figure 34 .Teneur moyenne en potassium dans les sols cultivés par les deux espèces et du sol Témoin.	60
Figure 35 .Teneur moyenne en phosphore dans les sols cultivés par les deux espèces et du sol Témoin.	62
Figure 36 . Taux de levée des plantes (le haricot et la fève) dans les sols non contaminés(A) et sols contaminés (B) (photo originale).	63
Figure 37 . Impacte de la pollution sur le taux de levée des plantes.	64
Figure 38 . L'évolution de la hauteur des plantes de la fève cultivées dans un sol contaminée et non contaminée durant 8 semaines.	65
Figure 39 . L'évolution de la hauteur des plantes de l'haricot cultivées dans un sol contaminée et non contaminée durant 8 semaines.	66
Figure 40 .La biomasse aérienne moyenne des deux espèces dans le sol témoin (NC)	67
Figure 41 . La biomasse racinaire moyenne des deux espèces (haricot et fève) cultivés dans les sols contaminé et non contaminé	68
Figure 42 .La longueur de la racine principale de la fève et de l'haricot dans les sols témoin et contaminé.	70
Figure 43 . Nombre moyen des feuilles de fève cultivés dans les sols contaminé et non contaminé.	71
Figure 44 . Nombre moyen des feuilles de l'haricot cultivés dans les sols contaminé et non contaminé.	71
Figure 45 .Résultats de l'extraction des hydrocarbures dans le sol pollué avant (A) et après deux mois (B) dans le sol témoin et les sols contaminés cultivés.....	73
Figure 46 . Comparaison des taux d'hydrocarbure totaux dissipé dans le sol contaminé cultivé par le haricot et la fève Après phytoremédiation et le sol contaminé non cultivé (témoin).....	74
Figure 47 . Taux de germination des graines du blé dans les différents sols contaminés cultivés et dans le sol contaminé non cultivé.....	76
Figure 48 .le taux de germination de blé dans les sols contaminés (contaminé cultivé par la fève, contaminé cultivé par le haricot et contaminé non cultivé) photo originale.	76

Liste des abréviations

HCP : Hydrocarbures pétroliers.

CE : Conductivité électrique.

CaCO₃ : Carbonate de calcium.

HC : Hydrocarbures.

MO : Matière organique.

HAP : Hydrocarbures aromatiques polycycliques.

Cu : cuivre

Pb : plomb

SNC : sol non contaminée

SC : sol contaminé

SCNCu : Sol contaminé non cultivé.

SNCCu : Sol non contaminé cultivé.

SCCU : sol contaminé non cultivé.

T° eb : Température d'ébullition

meq : Milliéquivalent

SNCCF : Sol non contaminé cultivé par la fève.

SCF : Sol contaminé cultivé par la fève

SNCH : Sol non contaminé cultivé par le haricot

SCH : Sol contaminé cultivé par le haricot.

Introduction

La production pétrolière depuis le dernier siècle jusqu'à nos jours a pris une grande ampleur mondiale et ne cesse d'augmenter, l'Algérie est l'un des grands pays producteurs de sources énergétiques fossiles (gaz et pétrole) (Rammade, 2007). Cette augmentation engendrant une pollution par les hydrocarbures des sites et des sols qui entourent toute installation (Norini, 2007).

Le secteur pétrolier est le secteur industriel le plus polluant et le plus dangereux : risques de contamination des sols, sous-sol, air, eau ...

Selon Ali Ahmed (2011), Malgré le fait que Les hydrocarbures représentent la principale source d'énergie dans le monde, ce sont les polluants les plus dangereux de par leur toxicité, leur insiduosité, leur récalcitrante, leur persistance dans l'environnement, constituant un véritable risque pour la santé humaine. Elle constitue un problème économique majeur

L'usage des hydrocarbures émet dans l'atmosphère, dans l'eau et dans le sol des quantités importantes de substances dangereuses. Le sol étant le support indispensable aux animaux, aux végétaux terrestres et à l'homme, toute pollution de celui-ci retentira sur la flore, la faune et sur l'homme lui-même. (Ali Ahmed, 2011).

Les hydrocarbures y sont parmi les polluants organiques les plus répandus

(Belabbas,2017) qui constitue une menace pour les sols Algériens vu la longueur du réseau de canalisation servant à transporter le pétrole du sud vers le nord ,cette pollution est susceptible d'une bioaccumulation dans les Chaines alimentaires, en présentant des toxicités pour le végétal, l'animal et des risques pour la santé humaine, Le problème majeur rencontré dans les sols pollués par les produits pétroliers est l'atteinte de la nappe phréatique donc affectant la qualité des eaux qui sont susceptibles de provoquer ou d'accroître la dégradation des eaux, en modifiant leurs caractéristiques physiques, chimiques, biologiques ou bactériologiques (Belabbas ,2017)

La prise de conscience de ces risques conduit à la nécessité d'établir des diagnostics de la pollution et de mettre en œuvre des moyens pour y remédier (Mortet, 2019).

La pollution des sols par les hydrocarbures pose d'importants problèmes d'élimination, Les voies d'élimination physique et chimique ont leurs limites du fait de leur coût ou de leur impact secondaire sur l'environnement. La voie biologique est actuellement en plein essor et suscite de très nombreux travaux de par le monde (Ali Ahmed, 2011).

Il existe deux catégories principales : les techniques de bioremédiation qui utilisent des micro-organismes du sol essentiellement des bactéries pour dégrader les polluants organiques, elles sont transformées en général en molécules de moins en moins polluantes. (Berkouche et Hadjadj, 2015) ; et les techniques de phytoremédiation qui exploitent les propriétés des végétaux (Zebiche et Semaani ,2015).

Parmi ces méthodes il ya la phytoremédiation qui Regroupe toutes les techniques qui utilisent les végétaux épurateurs du milieu Elle permet l'accélération des phénomènes naturels de biodégradation.

La phytoremédiation est une technologie verte, peut s'avérer une solution prometteuse au problème posé par la décontamination des sols pollués par des hydrocarbures. Elle consiste à évaluer la capacité des plantes à éliminer et/ou atténuer la contamination des sols par les hydrocarbures (Shirdam *et al.*, 2008). C'est une technologie en voie de développement, elle suscite l'intérêt de nombreux laboratoires de recherche à travers le monde. Dans ce contexte, nous avons choisi des espèces de légumineuses, pour mener un traitement de sols pollués avec les hydrocarbures au laboratoire.

Le présent travail est réalisé dans le but de traiter un sol contaminé artificiellement par du pétrole en appliquant la phytoremédiation.

Les objectifs de la présente étude consistent, d'une part, une étude de quelques propriétés Physicochimiques de deux sols (contaminé par le pétrole à 5 % et non contaminé) cultivés par des légumineuses qui sont le haricot et la fève.

D'autre part, après la récolte, nous avons procédé à un test de germination d'une plante dans les échantillons du sol utilisés dans l'expérience, Le but de ce test est d'évaluer l'impact et l'effet de la concentration des hydrocarbures contenus dans le sol sur la germination des graines de blé et d'évaluer le degré de Réhabilitation dans les différents échantillons de sol .

Partie bibliographique

Chapitre 1.

Hydrocarbures

Chapitre1. Hydrocarbures

1.1 Définition des hydrocarbures

Les hydrocarbures sont des composés organiques contenant exclusivement des atomes de carbones (C) et d'hydrogènes (H). Le terme « hydrocarbure pétrolier » (HCP) est un terme générique qui désigne les mélanges de composés organiques présents dans des matières géologiques comme l'huile, le bitume et le charbon ou les dérivés de ces matières confirme (Mortet, 2019).

Les hydrocarbures constituent la fraction la plus importante d'un brut pétrolier. Ils représentent entre 65 et 95 % de la plupart des pétroles bruts. Les composés pétrolier peuvent être caractérisés en quatre familles ; Les hydrocarbures saturés (30 à 70 %), les hydrocarbures aromatiques et poly aromatiques (20 à 40%), les composés polaires (5 à 25 %), et les asphaltènes (0 à 10%). Ils présentent une faible solubilité et, en conséquence, tendent à s'accumuler dans les sols. Ils interviennent dans 80% des cas de la pollution du sol (Belabbas, 2017)

1.2 Définition de pétrole

Le pétrole est un mélange complexe d'hydrocarbures, principalement utilisé comme source d'énergie ; il contient des hydrocarbures saturés, à chaînes linéaires, ramifiés ou cycliques, ainsi que des traces de soufre, d'azote, d'oxygène, d'eau salée et de métaux (Fer, nickel). On le trouve en grandes quantités dans des gisements enfouis sous la surface des continents ou au fond des mers (Belabbas, 2017).

1.3 Nature et origine

Les hydrocarbures sont considérés comme étant des polluants à la fois organiques et chimiques sont très répandus dans l'environnement, provenant des activités des secteurs énergétique et industriel. Leur principale source est le pétrole, mais ils sont aussi formés par des procédés biologiques ou de synthèse Certains composés ; les HAP, se forment naturellement par les incendies de forêt affirment Ali Ahmed, (2011) ; Mortet, (2019).

1.4 Classification

Ils sont regroupés en plusieurs classes parmi lesquelles figurent les hydrocarbures aliphatiques, les hydrocarbures cycliques, et les hydrocarbures aromatiques (Zebiche et Semaani, 2015).

1.4.1 Hydrocarbures aliphatiques

1.4.2 Hydrocarbures cycliques

1.4.3 Hydrocarbures aromatiques

1.4.3.1 Hydrocarbures aromatiques monocycliques

1.4.3.2 Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

1.5 Devenir des hydrocarbures dans l'environnement

C'est par des processus physiques, chimiques et biologiques qu'un hydrocarbure va pouvoir être déplacé, transformé ou éliminé, après avoir été répandu dans l'environnement. Parmi les différentes altérations que peut subir un hydrocarbure, on cite les facteurs environnementaux qui sont (Mortet, 2019) :

1.5.1 Evaporation

Est un phénomène qui touche les fractions de faible poids moléculaire et dépend des conditions atmosphériques (vent, vagues, température, ...). Les hydrocarbures les plus légers, ayant de 4 à 12 atomes de carbone ($T^{\circ} \text{eb} < 270^{\circ} \text{C}$), qui représentent généralement près de 50 % des hydrocarbures totaux d'un brut moyen, sont éliminés rapidement dès les premiers jours, pouvant conduire à une pollution de l'atmosphère. La plupart des pétroles bruts déversés perdent jusqu'à 40% de leur volume dans les premières 48 heures alors que les fuels moins lourds, qui contiennent peu de composés volatils, s'évaporent très peu, même après plusieurs jours (Soltani, 2004).

1.5.2 Solubilisation

La solubilité des hydrocarbures dans l'eau est très faible. Bien que les hydrocarbures soient des composés insolubles dans l'eau, certains d'entre eux peuvent partiellement se dissoudre (hydrocarbures aromatiques et hydrocarbures à faible nombre de carbone). Un hydrocarbure est d'autant plus soluble que sa masse moléculaire est faible et que sa polarité est élevée. Il est important de noter que ces hydrocarbures solubles sont parmi les plus dangereux pour l'environnement. Ils sont difficiles à éliminer et sont adsorbés par la faune et la flore (Goswani et Singh, 1991 ; Bouchez, 1995).

1.5.3 Emulsification

Deux types d'émulsions peuvent se former :

- L'huile dans l'eau : si la surface de l'eau est turbulente, les hydrocarbures peuvent se fragmenter en gouttelettes qui ensuite restent en suspension dans l'eau. Ces émulsions facilitent l'élimination des hydrocarbures (Mortet, 2019).

- L'eau dans l'huile appelée « mousse chocolat » : Ce type d'émulsion, que l'on qualifie également d'émulsion inverse, peut se produire en l'espace de quelques heures, et contient jusqu'à 90 % d'eau. Le résultat est une augmentation de la densité et de la viscosité, aussi que des volumes à traiter ou à enlever. Les émulsions eau dans l'huile sont constituées par des hydrocarbures de haut poids moléculaire. Ces émulsions difficilement dégradables sont les précurseurs des résidus goudronneux retrouvés sur les plages (Soltani, 2004).

1.5.4 Sédimentation

C'est le passage du pétrole de la surface vers le fond. Ce phénomène concerne les résidus goudronneux constitués de la fraction pétrolière la plus lourde et dont la densité est supérieure à celle de l'eau de mer. La sédimentation conduit à la constitution d'agrégats de haute densité difficilement dégradables par voie naturelle (Vandecasteele, 2005).

1.5.5 Photo-oxydation

La photo-oxydation est observée au niveau de la surface de l'eau ou de l'air (oxygène). Pour ça, la lumière (radiations solaires) est présente pour la transformation des hydrocarbures. Etant donné la réduction rapide de la diffusion de la lumière dans les couches épaisses d'hydrocarbures, la photo-oxydation affecte essentiellement les couches minces ou la surface des couches épaisses d'hydrocarbures. L'efficacité de ce phénomène dépend de la nature des hydrocarbures. (Mortet, 2019).

1.5.6 Biodégradation

La biodégradation est le processus naturel le plus important dans la dépollution de l'environnement (pour les hydrocarbures). Les microorganismes sont responsables, en particulier les bactéries. Les voies métaboliques d'oxydation des hydrocarbures par les bactéries et les paramètres qui peuvent influencer la biodégradation seront traitées plus loin (Mortet, 2019).

1.6 Sources de contamination du sol

La pollution par les hydrocarbures est en général :

-Soit chronique se traduisant par des rejets continus tant en qualité qu'en quantité, ex : les rejets aqueux de raffineries.

-Soit accidentelle se traduisant par des rejets ponctuels massifs de produits dans l'espace et dans le temps se caractérisant par des déversements très localisés D'importantes quantités de produits bruts ; ex : la rupture de pipelines lors du transport des hydrocarbures,

des accidents et renversement des camions citernes, rupture de bacs de stockage ..., le transport représente la source la plus conséquente puisqu'à toutes ses étapes il y a des pertes Selon Chaineau *et al.*, (2000).

1.7 Impacts des hydrocarbures sur l'environnement

La pollution par les hydrocarbures pose d'importants problèmes dans l'environnement, vis-à-vis des microorganismes, des plantes, des animaux et de la santé humaine déclare (Ali Ahmed, 2011) (voir annexe 1).

1.7.1 Action Sur les sols

Après une semaine de déversement des hydrocarbures dans le sol :

La terre présente une structure poudreuse dispersée attestant l'affinité entre les particules minérales du sol et les particules d'hydrocarbures. Cette structure assure une bonne circulation des fluides d'air et d'eau dans le sol ; en même temps, elle accroît le pouvoir de rétention (les sols pollués par les hydrocarbures ont 2 % d'humidité de plus que les sols témoins). Selon Chaineau *et al.*, (1996) Quant aux effets sur les propriétés chimiques, (Chaineau *et al.*, 1996) tels que la diminution du pH du sol et de la teneur en quelques sels minéraux (potassium, calcium et phosphore).

1.7.2 Action sur la microflore

L'apport des hydrocarbures dans le sol accroît, de façon considérable, l'activité microbienne. Cette modification de la microflore en présence d'hydrocarbures apparaît au bout du 54^{ème} jour après le déversement (Oudot, 1975).

1.7.3 Action sur la flore

Réduire le développement de certains végétaux. Elle se manifeste par une inhibition de la germination des graines et/ou celle de la croissance végétative. Le contact entre le produit pétrolier et la surface foliaire des végétaux va entraîner des dégâts causent des dommages immédiats sous forme de brûlures des parties aériennes, réduit les échanges gazeux entre la plante et l'atmosphère, La nutrition et le métabolisme des plantes sont perturbés. Certaines espèces végétales, non tolérantes, sont disparaissent (Mortet, 2019)

1.7.4 Action sur la chaîne alimentaire

Les sols contaminés par les hydrocarbures présentent un danger lors d'un contact direct avec l'homme ou l'animal ou indirect par la chaîne alimentaire, par le phénomène de la

bioaccumulation avec le piégeage par les végétaux et les animaux des polluants ou de leur produits de dégradation jusqu'à des teneurs atteignant les seuils de toxicité (Scriban, 1999).

1.7.5 Action sur la santé humaine

Les hydrocarbures constituent une classe des produits chimiques organiques dangereux dont certains de leurs effets toxiques sont reconnus comme fortement cancérigènes, génotoxiques, immunotoxiques, mutagéniques ou tératogéniques. Ils représentent une menace pour la santé publique (Mekerri et Tazeboudjt, 2017).

Chapitre 2.

Réhabilitation des sols pollués

Chapitre 2. Réhabilitation des sols pollués

Il existe une grande variété de méthodes de réhabilitation des sols contaminés, possédant toutes des avantages et des inconvénients avec lesquels on doit composer. Or, la méthode choisie devra être en mesure de traiter la source de pollution, de maîtriser les impacts et de protéger les cibles exposées. Elle devra aussi permettre d'améliorer la qualité de l'environnement, d'assurer la protection de la santé humaine et de promouvoir la réutilisation de ces terrains décontaminés (Mortet, 2019).

2.1 Moyens de décontamination

2.1.1 Méthodes physiques

Ce sont les méthodes les plus largement utilisées. Le principe consiste à utiliser des fluides présents dans le sol ou injectés comme vecteur pour transporter la pollution vers des points de concentration et d'extraction. Les procédés d'extraction, de lavage et de confinement sont les plus souvent utilisés (Colin, 2000).

2.1.2 Méthodes chimiques

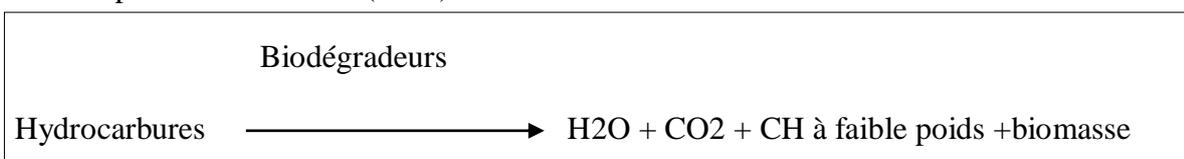
Ces méthodes ont pour but de détruire les polluants ou les transformer sous une forme moins nocive pour l'environnement, en provoquant des réactions chimiques entre les polluants contenus dans le sol et un réactif ajouté. Elles peuvent aussi concentrer les polluants de façon similaire aux procédés physiques (Colin, 2000).

2.1.3 Méthodes thermiques

Ce traitement est essentiellement employé ex situ pour la décontamination des sols pollués par des matières organiques facilement oxydables et largement convertible en CO₂ et H₂O. En général la technique du désorbiteur rotatif est la plus utilisée. Cependant, il existe quelque inconvénient à cette méthode, comme il peut se produire un dégagement de gaz toxiques, devant alors être traités (Colin, 2000).

2.1.4 Méthodes biologiques

La biodégradation d'un composé organique s'effectue sur plusieurs étapes. La réaction donnée par Chaineau et al. (1996) est la suivante :



Les procédés biologiques consistent à utiliser des organismes supérieurs et des microorganismes pour dégrader les polluants organiques (Ali Ahmed, 2011).

2.1.4.1 Bioremédiation

Elle consiste à activer la capacité naturelle que possèdent de nombreux organismes, (bactéries, micro algues, champignons), à dégrader les polluants en composés inertes, comme l'eau et le gaz carbonique. Ces organismes peuvent être indigènes (déjà présents dans la zone polluée), ou exogènes (ajoutés au milieu), ou encore être prélevés sur le site contaminé, cultivés au laboratoire puis réintroduits dans le sol (bioaugmentation) (Berkouche et Hadjadj, 2015). Ces techniques sont résumées dans le (tab.1).

Tableau 1. Différentes techniques de bioremédiation (VIDALI, 2001).

Techniques	Principe
Bioaugmentation	Introduction dans le sol des micro-organismes exogènes adaptés aux polluants à traiter, Utilisée couramment dans les bioréacteurs et le système ex-situ.
Biofiltration	Utilisation d'un bio filtre pour traiter les émissions gazeuses.
Biostimulation	Réensemencement de population prélevée sur le site (dans le sol ou les eaux souterraine) dont la croissance a été stimulée en laboratoire ou en bioréacteur, elle peut être utilisée in-situ ou ex-situ.
Bioréacteurs	Déroulement de la biodégradation dans des réacteurs ou bassins.
Biolixiviation	Solubilisation et entraînement dans la phase aqueuse par les micro-organismes de polluants fixés ou piégés dans le sol. Utilisé pour la dépollution des métaux non dégradables (cu, pb...)

2.1.4.2 Phytoremédiation

La phytoremédiation consiste à utiliser des plantes pour dépolluer ou stabiliser les sols pollués. Actuellement, cette technique est au stade de recherche appliquée, mis à part quelques réalisations sur site. Elle est émergente, surtout aux Etats-Unis, en Allemagne, en Grande-Bretagne et en France. Elle pourrait apporter un double gain, à la fois par un changement d'image des anciens sites industriels, qui seraient revégétalisés, et à la fois par une dépollution ou une stabilisation des polluants. Cette technique peut s'envisager

indépendamment d'autres techniques pour des sols faiblement pollués, mais elle peut aussi

- être utilisée en amont ou en aval d'une bioremédiation. (Costes et Druelle, 1997)

Elle permet l'accélération des phénomènes naturels de biodégradation. Les racines interviennent directement ou indirectement en stimulant la croissance et l'activité des microorganismes (Joner et Leyval, 2003).

Duchaufour (1991), Wilste (1998) et Banks et *al.* (1999) préconisent l'utilisation de légumineuses, ou de plantes fourragères pérennes.

D'autres façons c'est l'Ensemble de techniques de traitement des sols pollués utilisant les plantes et leur interactions avec les micro-organismes du sol pour bloquer, extraire, accumuler, transformer ou détruire les contaminants environnementaux. On distingue : phytostabilisations, phytovolatilisation, phytoextraction et phytodégradation. (Baize, 2016).

L'action des végétaux sur la dégradation des hydrocarbures peut se faire de manière directe ou indirecte. En effet, les racines produisent des enzymes de type peroxydase, capables d'oxyder les hydrocarbures. Le transfert des polluants organiques aux parties aériennes de la plante représente un enjeu important pour la sécurité de l'alimentation humaine et animale. Les critères pour mesurer l'efficacité d'une plante à dépolluer des sols contaminés sont sa capacité à croître sur le sol contaminé et sa capacité à absorber de grandes quantités de polluants voire à les dégrader (Mortet, 2019).

a. Espèces utilisées dans la phytoremédiation

Les légumineuses sont plus efficaces dans la biodégradation des hydrocarbures

(Fezani et Khider, 2007) et leur capacité dans la réhabilitation des sols pollués (Kellas, 2008) et d'améliorer leur qualité (Ait Tayeb et Titouche, 2011).

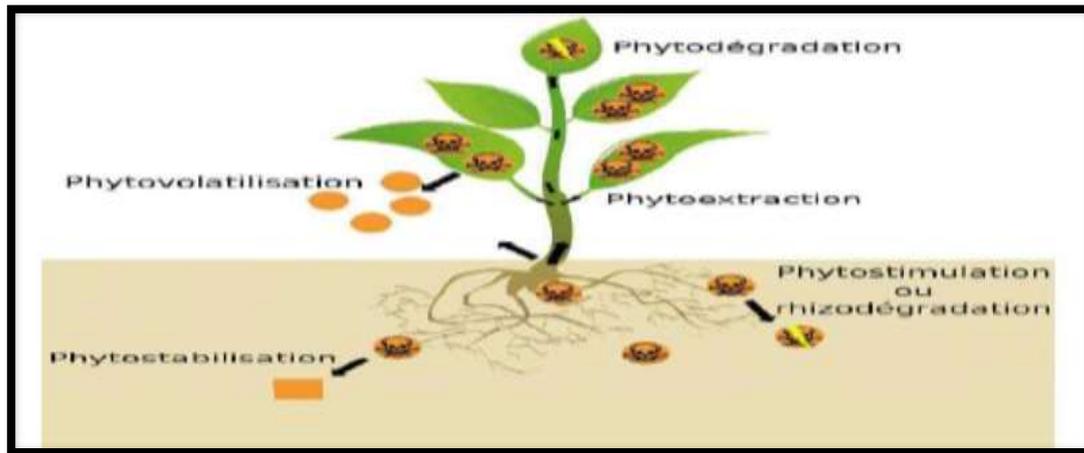


Figure 1. Différentes techniques de phytoremédiation (Pilon-Smits, 2005).

b. Techniques de phytoremédiation

b.1 Phytostabilisation

Recours à des plantes supérieures vasculaires pour réduire la mobilité et la diffusion dans l'environnement des polluants contenus dans un sol : que ce soit sous forme de poussières entraînées par le vent, ou d'ions ou particules lessivés par l'eau. La phytostabilisation ne vise pas l'élimination de la pollution, mais la fixation du polluant, évitant ainsi la recontamination de l'environnement autour des sites pollués (Baize, 2016).

b.2 Phytovolatilisation

Certaines plantes extraient du sol les métaux volatils (ex. : le mercure et le sélénium), puis ces éléments absorbés sont transportés vers les parties aériennes où ils sont volatilisés. (Baize, 2016).

b.3 Phytoextraction

Processus employé pour la décontamination des sols, qui utilise des végétaux afin d'extraire et d'accumuler les métaux potentiellement polluants dans les parties récoltables de plantes sélectionnées pour leur capacité de tolérance aux polluants et pour leur potentiel d'extraction et d'accumulation (plantes hyperaccumulatrices). La plante accède à la fraction la plus mobile des métaux du sol, appauvrit notablement cette fraction et par conséquent réduit les risques de transfert des éléments toxiques vers les cibles sensibles, organismes vivants et eaux (Baize, 2016).

b.4 Phytodégradation

Accélération de la dégradation de composés organiques polluants (hydrocarbures, HAP, solvants chlorés, pesticides, explosifs, etc.) grâce à la présence de certaines

plantes(phragmites, saules, peupliers,...) cette dégradation peut avoir lieu soit hors de la plante, grâce à l'activité des micro-organismes de la rhizosphère, soit dans la plante après absorption du composé puis dégradation dans les cellules par des enzymes spécifiques (Baize, 2016).

C. Avantages

- ✓ Une bonne intégration paysagère ; et qui freine l'érosion du sol et le lessivage des particules du sol (Dechamp et Meerts, 2003).
- ✓ Permet de réduire le déplacement des polluants dans l'air, l'eau, ou le sol, puisqu' ils sont maintenus près ou dans les plantes (sauf dans le cas de la Phytovolatilisation) (Mortet, 2019).
- ✓ La remédiation du sol se fait en minimisant les perturbations de l'environnement.
- ✓ Le coût de la phytoremédiation est faible ; il est 10 à 100 fois moins onéreux que les techniques classiques (Bert et Derma ,1999).
- ✓ La phytoremédiation requiert moins d'équipement et de travail que les autres Méthodes puisque ce sont les plantes qui font l'essentiel du de travail (Pilon-Smits ,2005).
- ✓ Plus extensives et plus respectueuses des caractéristiques des sols.
- ✓ la phytoremédiation est une technique dite passive du fait qu'elle ne demande pas d'apport énergétique si ce n'est celui du soleil. Elle permet aussi le traitement d'une grande diversité de polluants (métaux, pétrole brut, Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques, solvants, explosifs, lixiviats de remblai, produits phytosanitaires, etc.)(Origo *et al* ,2012).

D. Inconvénients

- Elle présente des inconvénients liés au manque de connaissances mais aussi à la difficulté inhérente à la gestion d'un matériel vivant (Mekerri et Tazeboudjt, 2017).
- Pour appliquer les techniques de phytoremédiation, il est nécessaire, à travers des analyses préalables, de s'informer le mieux possible sur les propriétés

physico-chimiques, du terrain, types de sol (caractéristique minéralogique, granulométrique, microbiologique...) (Mekerri et Tazeboudjt, 2017).

- Le procédé dépend de la météorologie, des attaques des insectes, des micro-organismes et des substances phytopathogènes (Mortet, 2019).
- Lentes à donner des résultats (Mortet, 2019).

Partie Expérimentale

Chapitre 3. Matériel et méthodes

Chapitre3. Matériel et méthodes

En vue de mettre en évidence le dispositif expérimental et les techniques d'évaluation de la biodégradation des hydrocarbures par le processus de la phytoremédiation le matériel ont été réuni et un ensemble des méthodes ont été adoptées.

3.1 Matériel utilisés

3.1.1 Matériel végétal

Deux espèces végétales différentes ont été utilisées à savoir la Fève et le Haricot qui appartient à la famille des Légumineuses, ces plantes sont réputées pour être pollu-résistantes selon Berkouche et Hadjadj (2015) et pour sa capacité à réhabiliter des sites contaminés confirme Kellas(2008) et pour que les légumineuses sont plus efficaces dans la biodégradation d'hydrocarbures affirment Fezani et Khider(2007) .

- Selon les études de Belkacem et Rouas(2012) *in* (Berkouche Et Hadjadj, 2015) La fève a révélée être plus tolérante que le trèfle en vers le pétrole. La phytoremédiation par la fève est plus efficace par rapport au sainfoin selon Rahmani et Slimani(2012) *in* (LarabietMoussi, 2016).
- Selon les études de Fezani et Khider(2007) la Capacité d'Haricot est la plus efficace à dépolluer le sol contaminé par le pétrole brut à 5 % et par l'essence à 5 % par rapport à l'orge.
- Fève (*Vicia faba* L.)

La fève (*Vicia faba* L.) est une plante annuelle portant une forte touffe de hautes tiges. Ses feuilles composées sont gris-vert. Ses fleurs blanches sont suivies de grosses gousses vertes noircissant à maturité, Ces gousses contiennent 4 à 8 graines. Elles sont riches en protéines, en magnésium, en potassium, en calcium, en vitamines ainsi qu'en fibres (Bentama et Boursas, 2016). Cette plante méditerranéenne est peu exigeante sur le type de sol, à condition que ce dernier soit bien ensoleillé et pas trop acide. Son pH optimal se situe aux environs de 6,75. Mais elle tolère bien les pH compris entre 5,5 et 8. Sa température optimale de croissance se situe aux environs de 20°C (Dali et Iddir, 2018).

- Classification botanique.

D'après kolev (1976) *in* Mezani (2016), la classification systématique de la fève est comme suit:

Embranchement : *Spermaphytes*

Classe : *Dicotylédones*

Ordre : *Rosales*

Famille : *Fabacées*

Genre : *Vicia*

Espèce : *Vicia faba L.*



Figure 2.Fève (*Vicia fabal. L*) (source : site web1).

- Haricot (*Phaseolus vulgaris L*)

Sont des plantes herbacées généralement annuelles, parfois bisannuelles ou vivaces pour certaines d'entre elles, dans des conditions de milieu favorables. Il s'agit de plantes lianescentes à croissance indéterminée (Mekkeri et Tazeboudjt, 2017). Le haricot germe à des températures comprises entre 12 et 35°C. C'est une plante qui a besoin de la lumière. Elle préfère les sols légers, profonds et sains légèrement acides, ayant un pH variant de 6 à 6,8 (Razanadrakoto, 2005).

- Classification botanique.

Selon Charles (1998) et Chauv et Foury (1994) *in* (Andriamihadjia, 2013) La classification du haricot est comme suit :

Embranchement : *Spermaphytes*

Classe : *Dicotylédones*

Ordre : *Rosales*

Famille : *Legumineuses*

Genre : *Phaseolus*

Espèce : *Phaseolus vulgaris L.*



Figure 3. Haricot (*Phaseolus vulgaris*L.)(Source : site web 2).

- Blé dur (*Triticum durum* L)

Nous avons utilisé cette espèce dans l'évaluation de la phytoremédiation, et le choix se fait par leur sensibilité aux hydrocarbures.

D'après Cronquist (1981), le blé occupe la position suivante :

Règne : *Plantae*

Sous-règne : *Trachéobionta*

Division : *Magnoliophyta*

Classe : *Liliopsida*

Sous-classe : *Commelimidae*

Ordre : *Cyperales*

Famille : *Poaceae*

Sous-famille : *Pooideae*

Genre : *Triticum*

Espèce : *Triticum durum L.*



Figure 4.Blé dur (*Triticum durum L.*) (source : site web 3)

3.1.2 Sol

Dans notre étude, on a utilisé un sol fertile provenant de la région d'Alhorraïade la commune de Sidi-Okba (située à 22 km de sud-est de wilaya Biskra). Le prélèvement correspond à une couche superficielle du sol de 0-25 cm selon Zebiche et Semaani(2015).

3.1.3 Hydrocarbures

Le pétrole provient à partir d'une fuite dans la canalisation du service du complexe de Tiguentourine de la commune 'In Amenas qui se situe à 28°,0461513 de latitude et à 9°,5784754 de longitude, elle est située à 239 Km à le Nord de Illizi, sur la route nationale n°3, (fig3).



Figure 5. Site de prélèvement des hydrocarbures (Google earth, 2020).

- Le choix de ce site est justifié par le fait qu'il y a une fuite de carburants ce qui conduit à la contamination des sols et des sous-sols et par la suite à la contamination de l'eau, et ça risque de passer dans la chaîne trophique. Nous avons utilisé ce pétrole pour la contamination du sol afin de se rapprocher des conditions naturelles d'une éventuelle fuite.

3.2 Méthodes

Cette étude nous a permis de voir la différence entre les deux espèces considérées en termes de résistance à la pollution par les hydrocarbures et d'évaluer la capacité de ces espèces à améliorer les caractéristiques physico-chimiques du sol dans un essai de phytoremédiation mené au laboratoire.

3.2.1. Localisation géographique du site expérimental

L'étude a été réalisée dans la serre de l'Institut Technique de Développement de l'Agronomie Saharienne d'Ain Ben Naoui située dans la commune de l'Hajab à 12 Km à l'Ouest de Biskra situant entre $34^{\circ}.7989056$ de latitude et $5^{\circ}.624767$ de longitude (fig.4).



Figure 6. Localisation du site expérimental (Google earth, 2020).

3.2.2 Test de germination

Ce test est réalisé le 11/02/2020. Selon Dali et Iddir(2018), dans le but de tester la fiabilité des graines de la fève et de l'haricot. Il consiste à planter un total de 10 graines d'haricot, et 8 graines de fève dans des boîtes de Pétri contenant des papiers absorbent ; Le taux de germination est calculé comme suit:

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



Figure 7. Test de germination de semis pour les deux espèces (le haricot et la fève)

3.2.3 Préparation du sol et mise en place de l'essai

Après l'échantillonnage sur le terrain, le sol est préalablement séché à température ambiante. Il est ensuite broyé manuellement à l'aide d'un mortier puis tamisé à 2 mm pour éliminer les éléments grossiers et les débris organiques se référant à celui adopté par Boudherhem(2011). Ensuite, le sol est divisé en deux lots ; le premier est contaminé avec du pétrole brut (5%) [Pollution artificiel du sol (Volume du pétrole /Poids du sol (5 ml dans 100 g de sol))] d'après les études réalisées par Salmi et Salmi(2017) ; et le second non contaminé se réfère aux études de Dali et Iddir (2018).

Adoptant la technique de Mortet(2019) notre dispositif est comme suite :

Le semis a été réalisées pour les deux espèces (le haricot et la fève) le 08/07/2020 ; Les deux cultures sont réalisées dans des pots en plastique de démontage de : 24 cm de diamètre et de 21cm de hauteur d'une capacité de 2,5 kg/pot, à fond tapissé d'une couche de graviers pour assurer le drainage;

- six pots sont cultivés et non contaminés (3pots pour chaque espèce).
- six pots sont cultivés et contaminés (3 pots pour chaque espèce).
- Trois pots est contaminé et non cultivé et un autre pot est non cultivé et non contaminé (Sols témoins) (voir fig.5).

Dans chaque pot 5 graines de la fève ont été semées à une profondeur de 3cm selon Mekkerri et Tazeboudjt(2017), et 5 graines par pots à une profondeur de 1,5 cm réparties pour le haricot se réfère à Zebiche et Semaani, (2015). 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 Mekkerri et Tazeboudjt (2017).

L'eau filtrée dans les soucoupes est réutilisée pour l'arrosage afin de maintenir la concentration des hydrocarbures dans le sol selon Salmi et Salmi (2017). La récolte a eu lieu le 08/09/2020. Les plantes ont été nettoyées et séchées pour faire l'objet de plusieurs analyses.

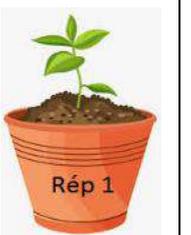
	Contaminé Cultivé (5%)			Non contaminé Cultivé		
Haricot						
Fève						
Témoin	Contaminé non Cultivé			Non contaminé non Cultivé		
						

Figure 8. Dispositif expérimental de l'essai conduit sous serre.



Figure 9.L'essai qui conduit sous serre (photo originale).

3.3 Effets des légumineuses (Fève et Haricot) sur les propriétés physico-chimiques et biologiques de sols contaminés par le pétrole brut

La contamination par les hydrocarbures entraînent une perturbation dans la teneur organique des sols et donc peuvent endommager de façon permanente leurs caractéristiques (ce qui peut aboutir à des sols peu fertiles) (Mortet, 2019), les légumineuses ont une capacité d'améliorer la qualité des sols pollués (Ait Tayeb et Titouche ,2011), ces effets sont mis en évidence par l'évaluation des analyses suivants :

Nous avons effectué, dans un premier temps des analyses sur le sol de départ (sol contaminés et le sol non contaminés). A la fin de l'expérimentation les analyses sont faites sur un sol cultivé non contaminé, sol cultivé contaminé et un témoin non cultivé contaminé (après deux mois).

3.3.1 Analyse physique

3.3.1.1 Analyse granulométrique

La texture d'un sol est révélée par son analyse granulométrique dont le principe est basé sur la vitesse de sédimentation des particules séparées et dispersées par destruction de la matière organique par une attaque à l'eau oxygénée. Le fractionnement de ces particules se fait par l'intermédiaire de la pipette de Robinson qui permet la détermination des fractions argileuses et limoneuses fines. Ensuite, les sables fins et grossiers sont mesurés par tamisage (Baize, 2000 *in* Boudrhem, 2011)

Mode opératoire : selon (AFNOR NF X31-107)

- a) Peser 10 g de sol (argileuse, 20g sableuse) dans un bécher de 600ml.
- b) Ajouter 50 ml d'eau oxygénée, agiter pour homogénéiser en tenant sous contrôle la formation de mousse, si le mousses risque de déborder ajouter un jet d'alcool éthylique.
- c) couvrir le bécher d'un verre de montre et laisser réagir au moins 12h (une nuit).
- d) Mettre le bécher sur le bain de sable dont la température ne doit pas dépasser 85c°.
- e) Laisser refroidir.
- f) verser le HCL (1N) en quantité suffisante pour détruire les carbonates, attendre la fin de l'effervescence.
- g) Transverse dans un flacon de sédimentation jaugé de 1000ml le contenu du bécher à l'aide d'un jet de pissette.
- h) verser dans les flacons 10 ml d'hexamétaphosphate de sodium.
- i) Compléter avec l'eau distillée jusqu'au traits de jauge (1000ml).
- j) Agiter le flacon pendant 1h au moins sur l'agitateur rotatif.
- k) Porter le flacon à proximité de la pipette de robinson.
- l) Mettre le flacon dans un récipient contenant de l'eau maintenue à 20c°.
- m) Agiter à l'aide d'un thermomètre le liquide d'un flacon. Si la température indiquée est égale à 20 c°. Sortir le flacon, l'agiter immédiatement et violement par retournement répétés de manière à mettre en suspension toute la terre (environ 10 retournement).
- n) Poser très rapidement le flacon sous la pipette de robinson.

1) Premier prélèvement : (argile+limon fin + limon grossier) <50μ:

- Température de la solution: 20c°
- Temps de sédimentation : 46secondes
- Profondeur 10 cm

2)Deuxième prélèvement (argile+limonfin)<20μ:

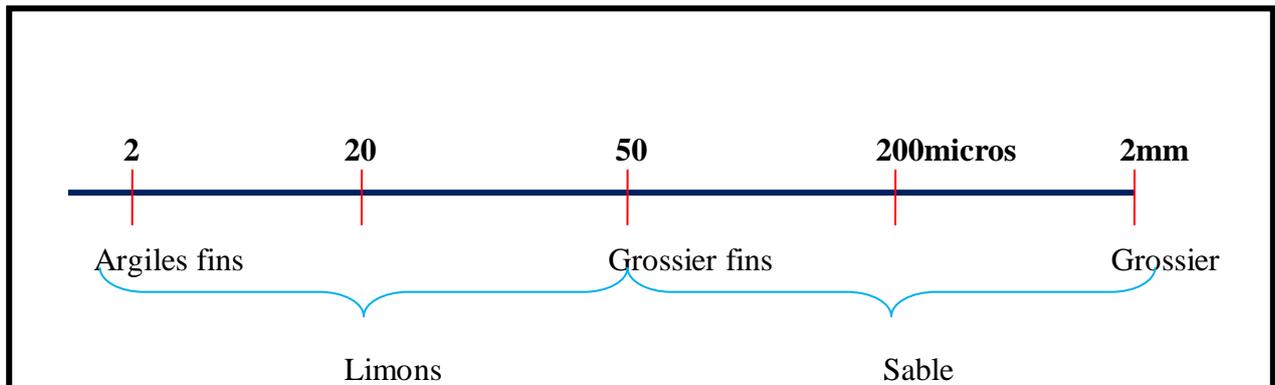
- Température de la solution 20c°
- Temps de sédimentation : 4 min et 48seonds
- Profondeur 10 cm

3)Troisième prélèvement : argile <2μ:

- Température de la solution 30c°
- Temps de sédimentation : 6h et 21min
- Profondeur 10 cm

4)Séparation des sables grossier et des sables fins par les tamis 200μ et 50μ :

- Transverse les prélèvements dans des capsules, les peser avant utilisation
- Porter les capsules à l'étuve à 105° jusqu'à 24h
- Peser les capsules



Calcul:

$$\underline{\text{Argile\%}} = \frac{(P2-Ph) * v2/V1 * 100/p - [P/100(MO\%+caco3\%)]}{100}$$

$$\underline{\text{Limon fin\%}} = \frac{(P1-P2) * v2/V1 * 100/p - [P/100(MO\%+caco3\%)]}{100}$$

$$\underline{\text{Sable fin \%}} = \frac{P3 * 100/p - [P/100(MO\%+caco3\%)]}{100}$$

$$\underline{\text{Sable grossier\%}} = \frac{P4 * 100/p - [P/100(MO\%+caco3\%)]}{100}$$

$$\underline{\text{Limon grossier\%}} = 100 - (A\% + LF\% + SF\% + SG\%)$$

Soit:

P: prise d'essai

P1: poids d'argile+limon+heamétaphosphate de sodium prélevé et peser à se

P2: poids d'argile+heamétaphosphate de sodium

Ph: poids heamétaphosphate de sodium dans la suspension prélevé

P3: poids des sables fins

P4: poids des sables grossiers

V1: volume total de la suspension

MO: % de la matière organique

Caco3 Total: % du calaire total



Figure 10 .Réalisation de l'Analyse granulométrique par l'utilisation de la pipette de robinson (photo originale).

3.3.1.2 Teneur en eau ou humidité

La détermination de la teneur pondérale en eau du sol par la méthode gravimétrique selon la norme NF ISO 1146. Elle s'exprime en % c'est-à-dire en gramme d'eau pour 100 g de sol déshydraté à 105°C.

Le taux d'humidité s'exprime en % selon la formule suivante :

$$H \% = \frac{P1 - P0}{P0}$$

- P 1: poids de la prise d'essai du sol (g).

- P 0 : poids de la prise d'essai de sol après séchage à 105°C (g) (Bouderhem, 2011)



Figure 11.Détermination de la teneur de l'Humidité

3.3.2 Analyse physico-chimique du sol

3.3.2.1 Potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH représente l'acidité du sol. La mesure du pH de la solution du sol nous renseigne sur la concentration en ions H_3O^+ . Ces ions sont en équilibre avec ceux présents à l'état fixé sur les argiles et la matière organique formant le complexe adsorbant (colloïdes du sol).

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

Mode opératoire

- a) Peser 10g de l'échantillon tamisé à 2 mm ;
- b) Ajouter 25ml de l'eau distillée, agiter pendant 10 minutes ;
- c) Laisser au repos pendant 2 heures ;
- d) Mètre l'électrode dans la solution à analyser puis effectuer la mesure après la stabilisation de l'appareil.



Figure 12. Détermination de pH à l'aide d'un un pH mètre.

3.3.2.2 Conductivité électrique (CE)

Selon Duchaufour (1965), la conductivité électrique relate les teneurs en différents sels solubles contenues dans un milieu donné. Ces sels peuvent contenir des ions de sodium, de magnésium, de chlore et autres.

Mode opératoire

- a) Peser 5g de sol, mettre dans un bécher ;
- b) Ajouter 25 ml d'eau distillée ;
- c) Agiter pendant 2 min ;
- d) Laisser reposer pendant 30 min ;
- e) Filtrer
- f) Refiltrer, pour obtenir une filtration claire.
- g) Nous mesurons la conductivité électrique avec un conductimètre.



Figure 13.Détermination de la conductivité électrique par un conductimètre.

3.3.2.3 Calcaire total

Parmi les différents éléments chimiques qui entrent dans la composition du sol le calcaire joue un rôle essentiel non seulement dans la nutrition des plantes mais encore dans la pédogenèse Duchaufour (1965).

Mode opératoire : La teneur en carbonate de calcium est déterminée par la méthode de Woodward (1961), citée dans Mathieu et Pieltain (2003).

- a) Dans un échantillon tamisé, prélever 1g de terre fine pour un échantillon à une teneur présumée en CaCO_3 de 20-39,9% et 0,5 g pour 40-79,9%.
- b) Verser la prise d'essai dans l'erenmeyer et introduire le tube contenant HCL en prenant soin de garder le tube vertical et ne pas le verser sur la prise d'essai.
- c) Relier l'erenmeyer au calcimètre.
- d) Equilibrer les pressions en ramenant au zéro de la colonne. Le niveau d'eau de l'ampoule par le dispositif prévu.
- e) Verser l'acide contenu dans le tube sur la prise d'essai en inclinant la fiole et agiter énergiquement en tenant la fiole par le col et en évitant tout échauffement.
- f) Suivre et équilibrer en permanence le niveau d'eau de la colonne et celui de l'ampoule.

- g) Noter le volume V1 après stabilisation du volume de gaz dégagé.
- h) Dans les mêmes conditions et avec les mêmes réactifs, procéder à une prise d'essai de 0,2g de CaCO_3 .
- i) Noter le volume correspondant V2.

Calcul : $\text{CaCO}_3(\%) = \frac{V1 * 0,3 * 100}{p * V2}$

V1 : lecture de volume d'échantillon. V2 : lecture de volume de témoin. P : poids de terre fine utilisée. 0. 3 : poids de CaCO_3 pour témoin.



Figure 14. Détermination de La calcaire total par la méthode de Woodward (1961), par le calcimètre de Bernard.

3.3.2.4 Matière organique (MO)

Les classes d'appréciation de la teneur du sol en matière organique sont réalisées en fonction du taux de carbone.

La détermination de la matière organique est effectuée par la méthode de Walkley-Black: le carbone organique est oxydé par du bichromate de potassium en milieu sulfurique (Najib *et al* ,2014).

Le calcul du pourcentage de carbone organique se fait par le titrage direct du bichromate de potassium avec la solution de Mohr.

Mode opératoire :

- a) Dans un ballon en pyrex de 500 ml : peser 1g de terre fine.
- b) Ajouter à l'aide d'une pipette avec poire 10ml de $K_2Cr_2O_7$.
- c) Ajouter à l'aide d'une éprouvette 20ml de H_2SO_4 (attention réaction dangereuse ; tenir le ballon loin du visage) et agiter doucement.
- d) Laisser le mélange refroidir pendant environ 30min.
- e) Ajouter doucement 150 ml d'eau distillé et 10 ml d'acide phosphorique.
- f) Ajouter 1 ml d'indicateur.
- g) Titrer à l'aide de la solution de $FeHSO_4$ jusqu'à obtention d'une couleur vert brillant.
- h) Soit B le volume de la solution consommée.
- i) Soit A le volume de la solution consommée par le témoin réalisé dans les mêmes conditions mais sans l'échantillon.



Figure 15. Détermination de la matière organique à l'aide de titrage.

3.3.3 teneur en quelques sels minéraux (potassium, calcium et Phosphore)

3.3.3.1 dosages de calcium [CA]

Principe : en présence du calcium la complexion III (EDTA), donne des complexes stables.

Le dosage se fait par titrage en présence de colorants servant d'indicateur de fin de réaction [le murexide] (B.N.D.D.R, 2006).

Mode opératoire :

Dans des béchers de 50ml, prélever :

- a) 10 ml de la solution de l'échantillon
 - b) 1ml de la solution de NaOH à 2,5 N
 - c) 1 pincée du mélange murexide
 - d) Titrer avec la solution d'EDTA jusqu'à coloration bien violet
- Noter le volume V d'EDTA.

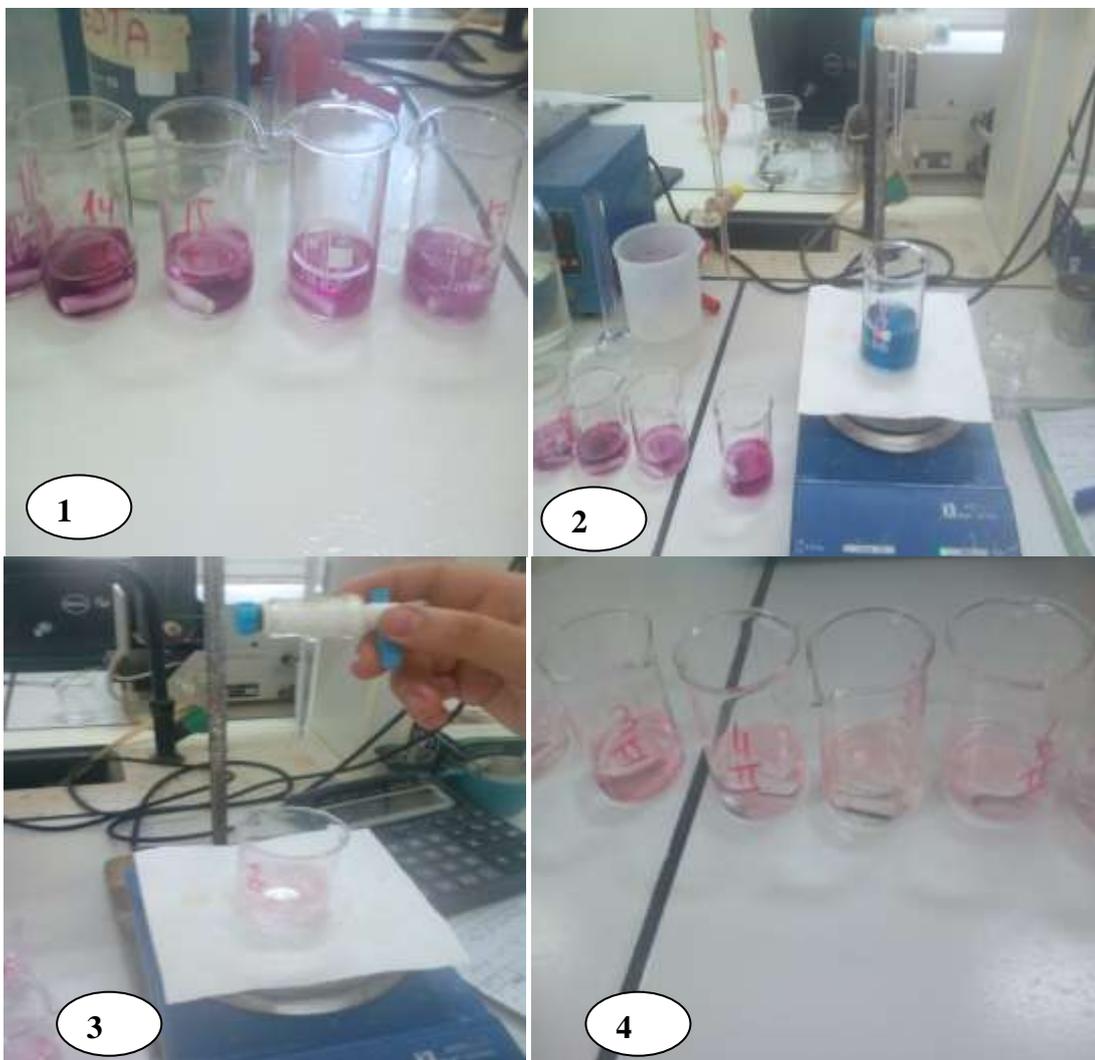


Figure 16.Détermination de La teneur en éléments Ca^{++} et Mg^{++} avec un titrage par EDTA. (1 &2 pour le Mg^{++} et 3&4 le Ca^{++})

3.3.3.2 Dosages de phosphore :

Mode opératoire :

A. Extraction :

- Peser 4g de terre broyée et passée au tamis de 2mm ; introduire dans un flacon d'agitation de 150ml.
- Ajouter 100ml de la solution d'oxalate d'ammonium 0,2N.
- Agiter à l'aide d'un agitateur pendant 2heures.
- Filtrer à l'aide du papier filtre.

B. dosage :

Les dosages sont effectués sur un volume de 10ml dans des tubes à essai, l'addition des réactifs se fait comme suit :

- 1,5 ml de prise d'essai.
- 2ml de réactif sulfomolybdique.
- 6,5 ml de solution d'acide ascorbique.

Homogénéiser les solutions ; chauffer au bain-marie bouillant pendant 10à12mn ; laisser refroidir et passer au spectrophotomètre à 825nm. (Rodier *et al*, 1959)



Figure 17. Dosage de phosphore à l'aide d'un spectrophotomètre.

3.3.3.3 Dosages de potassium :

Mode opératoire :

- a) Peser 5g de terre et les placer dans une fiole d'agitation de 200ml.
- b) Ajouter 50ml de la solution d'acétate d'ammonium.

- c) Agiter pendant 1 heure.
- d) Filtrer la suspension dans une fiole de 50ml et compléter au trait de jauge à l'eau distillée.
- Préparation de la gamme d'étalonnage : solution mère de KCl1000ppm.
 - Solution fille à100ppm : prendre 10ml de la solution mère les introduire dans une fiole de 100 ml et compléter au trait.
 - Solution d'étalonnage : dans des fioles de 100ml, préparer les concentrations suivantes : 0,5 ppm, 1ppm, 2ppm, 4ppm, 8ppm, 12ppm, 20ppm. Compléter au trait de jauge avec de l'eau distillée ou de l'acétate.

Calcul :

$$K \text{ (meq/100g de sol)} = R * V * 100 / 1000 * P * 39$$

R : résultat lu sur le graphe. V : volume d'extrait (50ml). P : prise d'essai (5g). (Rodier *et al*, 1959).



Figure 18. Dosage de potassium par photomètre à flamme

3.3.4 Analyse microbiologique

Pour isoler et dénombrer la microflore bactérienne et les champignons à partir des sols Contaminés par le pétrole et des sols non contaminés, utilisé la méthode de suspension – dilution (Bouderhem, 2011).

- Préparation de la solution mère :

Dans un erlenmeyer, préparé la solution mère en mélangeant 10 g de sol sec + 90 ml d'eau physiologique stérile. Cette solution est agitée à l'aide d'un agitateur pendant 20 minutes.

- Préparation des suspensions dilutions :

Disposer sur un portoir une série de 6 tubes stérilisés, numérotés de 1 à 6, et contenant chacun 9 ml d'eau physiologique stérile.

- Pipeter 1 ml de la solution mère et le verser dans le tube 1, agiter vigoureusement, c'est la dilution 10⁻¹. Transférer 1 ml de cette dernière dans le tube 2 contenant de l'eau physiologique stérile (9ml), il s'agit de la dilution 10⁻², agiter vigoureusement.

L'opération est répétée pour le restant des tubes en transférant 1ml de solution d'un tube à l'autre, afin de préparer les dilutions 10⁻³, 10⁻⁴, 10⁻⁵, 10⁻⁶. (fig.6).

1. Microflore bactérienne

Pour isoler les bactéries du sol, il suffit de prendre 1 µl de chaque dilution et l'étaler à la surface d'un milieu de culture gélosé puis ensemercer sur boîte de Pétri contenant la gélose nutritive et incubé pendant 48 heures à 28°C. Le dénombrement après culture concerne, évidemment les cellules viables de l'échantillon autrement dit, les cellules capables de croître, Il est basé sur l'aptitude de chaque bactérie, fixée par la solidification du milieu gélosé, à former une colonie visible à l'aide d'un compteur de colonies (Austin ,1988 *in* Boudierhem ,2011).

2. Champignons

La méthode des suspensions dilutions, est Utilisable aussi pour les champignons.

Les champignons sont cultivés sur un milieu de culture PDA, et ensemenés avec des suspensions dilutions du sol. 1 µl de chaque dilution (10⁻¹ à 10⁻⁶) est disposé sur des boîtes de Pétri comprenant le milieu PDA et étalé sur toutes la surface de la boîte. Les boîtes sont incubées à l'étuve pendant 7 jours à 28°C. Le dénombrement est réalisé à l'œil nu.

Dénombrement de la microflore bactérienne : Après 24h d'incubation à 30°C, les colonies développées (visible) sont dénombrées à l'aide d'un compteur de colonies de type Funke Gebber Colony Star (Dali et Iddir ,2018) (fig.6)

Selon Marchal et Bourdon (1982) cité par Boudierhem, (2011), le nombre de germes par gramme de sol est déterminé en calculant la moyenne arithmétique des résultats obtenus et en tenant compte des facteurs de dilution, selon la formule:

N : nombre des microorganismes en UFC/ml. n: nombre des colonies dénombrées.

v: volume prélevé (0.1ml).d: dilution.

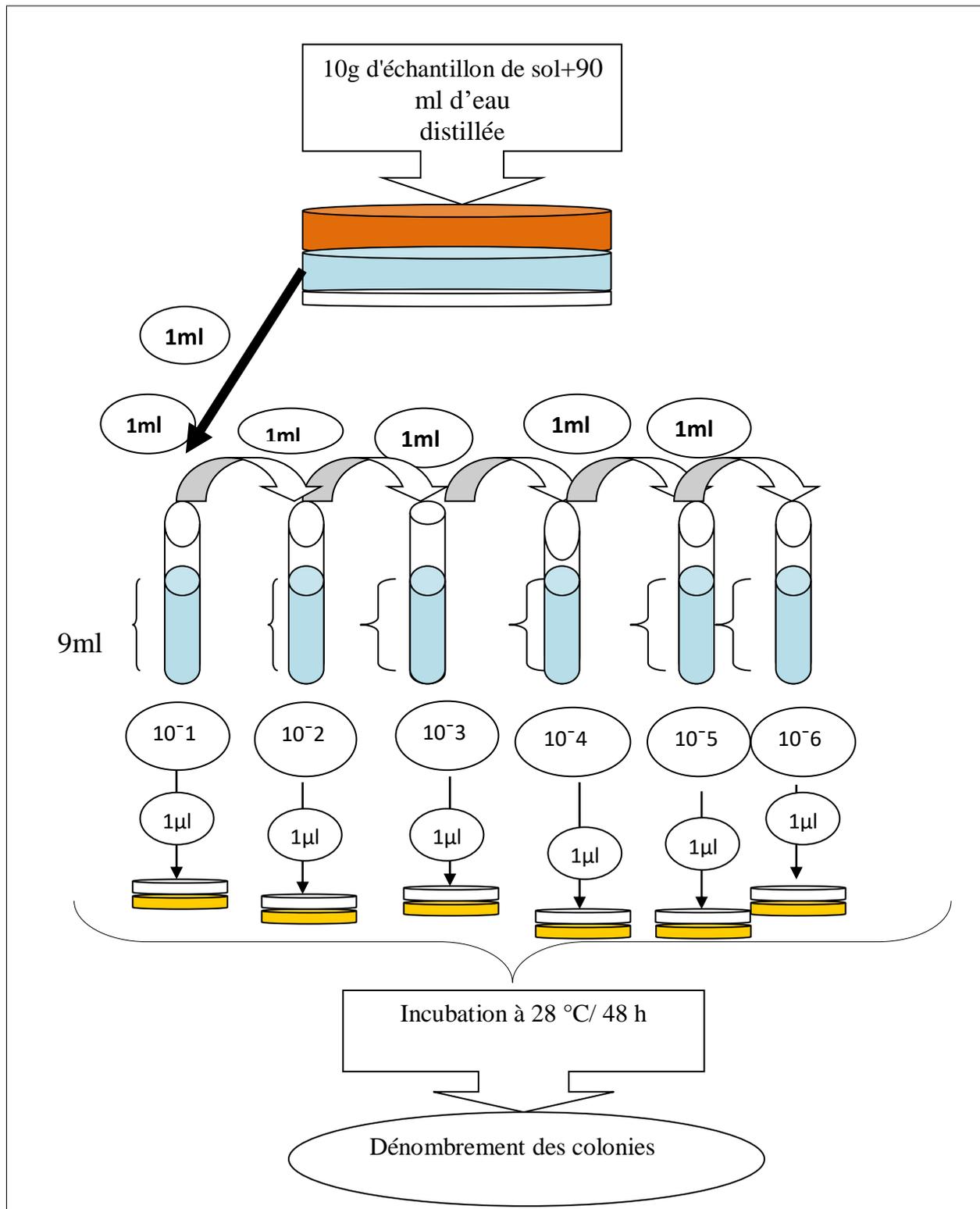
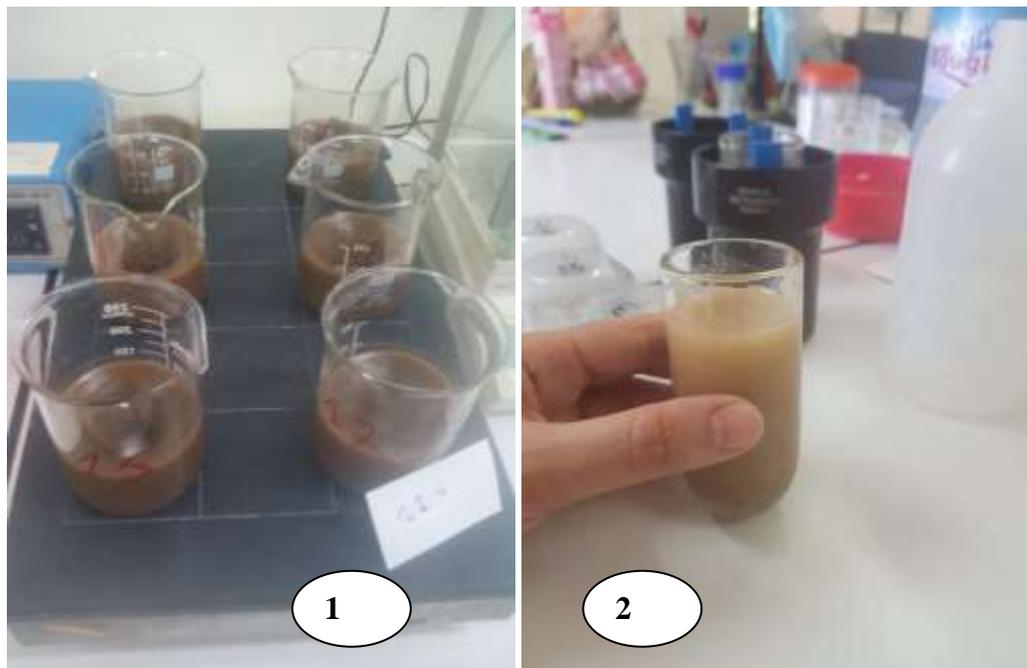


Figure 19. Schéma explicatif des protocoles adoptés pour l'isolement des bactéries et des Champignons à partir des sols contaminés et non contaminés.

3.4. Evaluation de la quantité des hydrocarbures dans le sol

L'évaluation s'effectue par l'extraction des hydrocarbures contenus dans le sol contaminé à 5% non cultivé et le sol contaminé à 5% cultivé par La fève et le Haricot , le but de cette extraction est d'évaluer la quantité des hydrocarbures restante dans le sol après culture en comparaison à celles de ce même sol avant culture.

- Elle se fait par dichloro-méthyle. 10g de sol sont pesés de chaque pot (contaminés cultivé et non cultivé), auxquels sont ajoutés 50ml de l'hexane et 50 ml de dichloro-méthyle en agitation pendant deux heures.
- Après centrifugation pendant 10mn à 5000 trs/m, les surnageant sont récupérés et laissés à évaporation totale. Après évaporation, les quantités d'hydrocarbures extraites sont pesées à l'aide d'une balance de précision (Zebiche et Semaani, 2015)



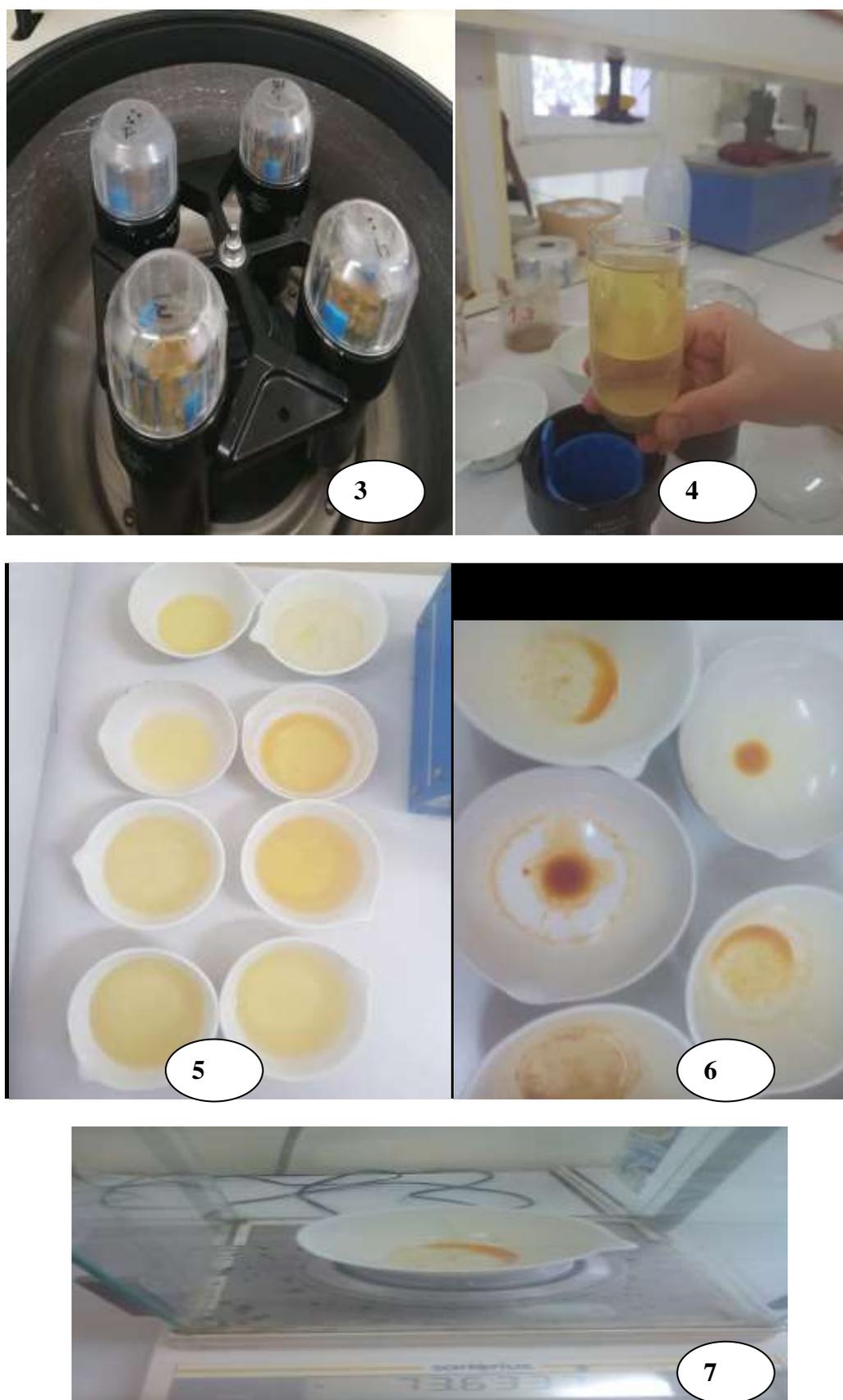


Figure 20. Étapes de l'évaluation de la quantité des hydrocarbures dans le sol avant et après 2 mois.

3.5 Effets toxiques des hydrocarbures sur le rendement des plantes

Les effets toxiques des hydrocarbures sur les plantes sont mis en évidence par l'évaluation des paramètres suivants :

3.5.1 Taux de levée

Selon Berkouche et Hadjadj(2015), Il consiste à établir un pourcentage de levée dans chaque pot de la troisième semaine, en dénombrant les plantes levées. Il est donné par la formule suivante :

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

3.5.2 Hauteur des plantes

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

3.5.3 Biomasse végétale

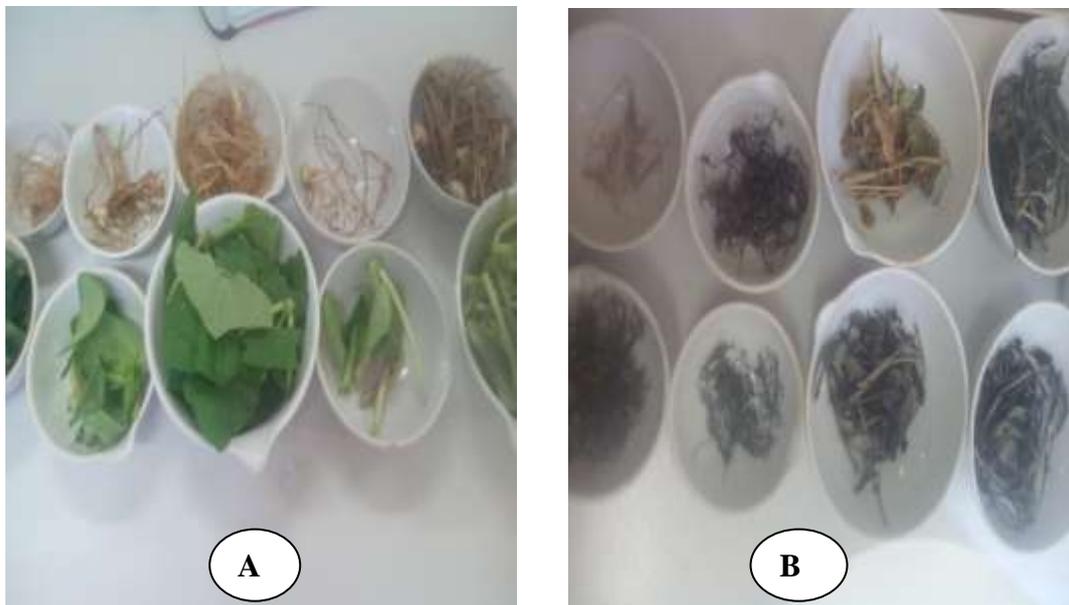


Figure 21. Détermination de la biomasse végétale (aérienne et racinaire) avant (A) et après (B) un séchage de 105° à l'étuve

3.5.3.1 Biomasse aérienne

Il s'agit de peser la partie aérienne des plants, de chaque sol, à l'état sec. La partie aérienne étant séparée de la partie racinaire et séchée à l'étuve à 105C° pendant 24 heures (Berkouche et Hadjadj 2015)

3.5.3.2 Biomasse racinaire

Elle consiste à mesurer le poids des racines en suivant les mêmes étapes que pour la biomasse aérienne (Berkouche et Hadjadj 2015).

3.5.4 Longueur des racines

Elle mesure la croissance en longueur des racines pour les deux espèces. Elle a porté sur la racine principale (Berkouche et Hadjadj 2015).

3.5.5 Nombre des feuilles

Après 2 semaines de culture, nous avons procédé au comptage du nombre des feuilles pour chaque plante (Mekerri et Tazeboudjt2017).

3.6 Test de germination

La plante testée est le blé. Ce choix s'est porté sur ce végétal en raison de sa bonne faculté germinative et sa sensibilité à la pollution (Ali Ahmed, 2011)

Après la récolte, nous avons procédé à un test de germination d'une plante dans les échantillons du sol utilisés dans l'expérience, le semi est réalisé en mettant dans chaque boîte détrempée 100 graines de blé, puis nous les avons fait germer dans des conditions favorables avec un arrosage régulier dans les différents échantillons.

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

Il consiste à établir un pourcentage de germination dans chaque lot en dénombrant les graines germées dans les sols contaminés et traités par la phytoremédiation (Berkouche et Hadjadj, 2015)

$$\text{Taux de germination (\%)} = \text{nbr de graines germées} / \text{nbr totale des graines} \times 100$$



Figure 22. Test de germination de blé (*Triticum durum L*) dans les différents sols contaminés (CCUF, CCUH, CNCU)

Chapitre 4

Résultats et discussion

Chapitre 4. Résultats et Discussion

Avant de faire la culture des deux espèces *Vicica faba* et *Phaseolus vulgaris*, nous avons analysé notre sol à l'état initial et nous avons testé la fiabilité des graines des deux espèces ;(voir annexe2).Ainsi que nous avons effectué un test de germination des deux espèces étudiées.

4.1. Test de germination

D'après le test de germination, les graines des deux plantes testées ont donné un taux de germination acceptable avec 95.83 % pour la fève et 83.33% pour le haricot, ce qui les rend facile à l'utilisation dans notre expérience avec les hydrocarbures (voir figure 23, 24)

Nos résultats corroborent avec ceux trouvés par (Dali et Iddir ,2018).



Figure 23. Les résultats de test de germination de l'haricot (*Phaseolus vulgaris* L.) et de la fève (*Vicica fabal.* L) (photo originale)

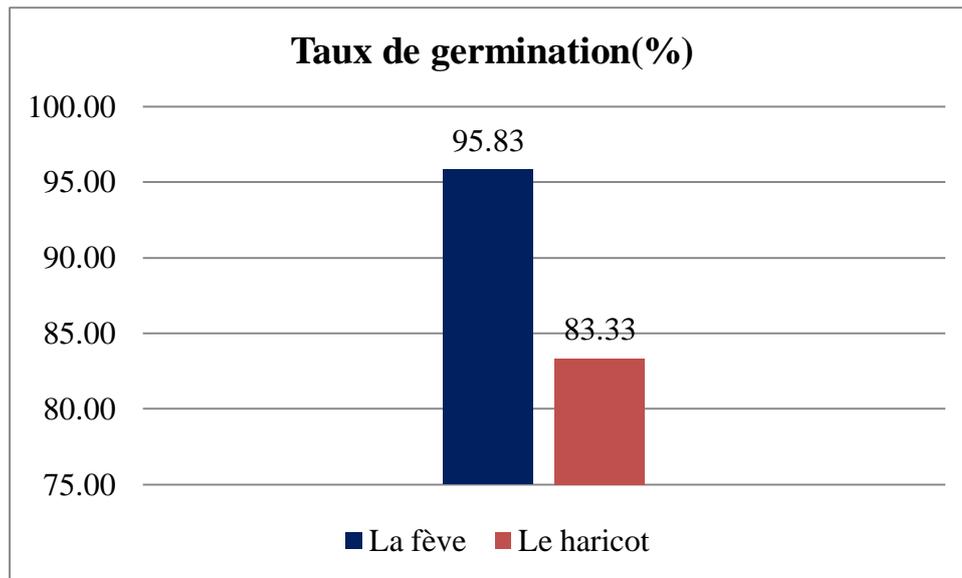


Figure 24. Taux de germination de l'haricot *Phaseolus vulgaris* et de la fève *Vicia faba*

4.2 Résultats d'Analyses physicochimiques sur le sol à l'état initial

4.2.1 Sol non pollué

Le tableau 2 résume l'ensemble des résultats d'analyses de caractérisation du sol non pollué (voir tableau 2). Ces derniers donnent un aperçu sur l'état de notre substrat de culture utilisé ; dont nous avons trouvés que :

Tableau 2 . Résultats d'analyses physico-chimiques de sol non pollué (à l'état initial).

Paramètres	Résultats	Paramètres	Résultats
Phosphore assimilable	0.50(mg/l)	Conductivité	3.70 ($\mu\text{s/cm}$)
		Taux de minéralisation	2.37 g/L
Humidité	4.983%	Matière organique	0.58%
pH	9.06	Calcaire	33.71%
Potassium	103.79 (mg/ml)	Calcium	10.8 (meq /L)
Granulométrie	Argile : 15.81% Limon : 70.71% Sable : 13.47%	Carbone	0.25 %
		Magnésium	11.8 (meq /L)

Les résultats des analyses granulométriques de notre échantillon de sol non pollué (tableau 2) et pollué (tableau 3) font ressortir une prédominance de la fraction limoneuse avec 70.71 % de limon alors que les fractions d'argiles et du sable sont faibles 15.81 % et 13.47 % pour le sol non pollué. Cette structure est presque la même pour le sol pollué avec une composition de 68.86% Limon, 16.06% Argile et 15.07% de Sable.

Le sol étudié est donc classé comme limoneuse selon le triangle textural du Groupement d'Études des Problèmes de Pédologie Appliquée : GEPPA) (voir annexe 4)

L'importance de la fraction limoneuse dans le sol étudiée suggère une perméabilité à l'eau et à l'air facilitant ainsi la circulation des fluides contenant les nutriments et l'oxygène qui sera d'autant plus accessibles aux microorganismes que le milieu est perméable, Sa diminution va limiter leur extension, aboutissant à la fin à une mauvaise biodégradation (Lecomte, 1995). En effet, une faible perméabilité limite le passage d'air nécessaire pour

promouvoir la croissance bactérienne (GABET, 2004). Ils sont généralement plus faciles à travailler, propice au bon développement des plantes et peuvent stocker des volumes d'eau considérables.

Cependant, la faible proportion en argile de notre sol affecte négativement l'activité microbienne puisqu'on peut considérer que la fraction d'argile se comporte comme une sorte d'entrepôt dans lequel serait mise en réserve une partie de ressources nutritives, assurant de cette façon aux microorganismes un plus grand étalement dans l'espace et la disponibilité des Nutriments et de l'eau (Bouderhem, 2011).

Le résultat obtenu en MO est de l'ordre de 0.58% pour le sol non polluée, On remarque que ce sol est très pauvre en MO. Constate Baize (2004) car la région est désertique et les échantillons sont pris loin des fermes d'après les constatations de Belabbas (2017).

Le pH de substrat est de l'ordre de 9.06 avec une conductivité électrique de 3.70 ($\mu\text{s}/\text{cm}$) c'est à dire 2.37 g de sel par litre cette quantité de sel est idéal pour le développement de la plupart des plantes selon Mortet (2019).

notre sol est donc très fortement alcalin et faiblement salé. Même constatation de Baize (2004), Dans les régions arides, les sols sont généralement alcalins affirment Koull et Chehma (2016) ; Selon Gabet (2004), d'une part l'activité microbienne est plus affectée par le pH, Il doit être compris entre 5 et 9 et avoir un alentour de 7, d'autre part Un pH supérieur à 8 est également préjudiciable à la croissance d'un grand nombre de végétaux entraînant une mauvaise assimilation de certains éléments (dont le Magnésium et surtout le Fer) Confirme Faucard (1994).

Concernant l'humidité du sol étudiée elle est relativement faible (4.983 %) cette valeur est directement liée aux conditions climatiques de la zone d'étude et / ou à la texture du sol. Toutefois, il est à noter qu'une faible humidité peut avoir un effet négatif sur l'activité microbienne affirme (Lecomte R (1998).

Notre sol présente certaines carence en cations (Phosphore assimilable = 0.50 (mg/l)) avec dominance du Potassium (103.79 (mg/ml)).

La valeur du calcaire total dans notre sol est de l'ordre de 33.71% ce qui indique que ce sol est fortement calcaireux, nos résultats ont similaire à celui trouvés par Baize (2004).

4.2.2 Sol pollué

Les caractéristiques physicochimiques du sol pollué sont illustré au tableau suivant (voir tableau 3) dont nous avons trouvés que

Tableau 3. résultats des analyses physico-chimiques de sol pollué (de départ).

Paramètres	Résultats	Paramètres	Résultats
Phosphore assimilable	0.20 (mg/l)	Conductivité	3.60(μ s/cm)
		taux de minéralisation	2.30 g/L
Humidité	6.646%	Matière organique	4.86%
pH	8.53	Calcaire	32.5%
Potassium	79.52 (mg/ml)	Calcium	12.6 (meq /L)
Granulométrie	Argile16.06%,	Carbone	2.12 %
	Limon68.86%		
	Sable15.07%		
Quantité en pétrole	0.586 (g/Kg de sol)	Magnésium	6.4 (meq /L)

L'échantillon de notre sol étudié est caractérisé par un pH alcalin de 8.53, une humidité de 6.646%. Les éléments minéraux dosés sont le : le phosphore, le Potassium, le Calcium et le Magnésium dont les teneurs respectivement sont de l'ordre de 0.20 (mg/l), 79.52 (mg/ml), 12.6 (meq/L) et 6.4 (meq/L) (voir Tableau.3).

Les faibles teneurs en eau des échantillons peuvent d'une part être expliquées par les faibles humidités relatives des sols sub-sahariens (Bouderhem,2011) et d'autre part par le déversement des hydrocarbures et la richesse du sol en argile (16.06%). Toutefois, il est à noter qu'un faible taux d'humidité peut avoir un effet négatif sur l'activité microbienne en réduisant les transports et les échanges biochimiques ainsi que en limitant le contact microorganisme / polluant et en inhibant le processus de dégradation enzymatique (Lecomte, 1998).

Le pH alcalin du sol contaminé (polluée) est influencé par celui des hydrocarbures rejetées qui présentant des pH allant de 9 à 10 pour éviter la corrosion du matériel de production. Ce pH proche de la neutralité, favoriserait la croissance des bactéries et des Champignons et par conséquent assurait un déroulement efficace de la biodégradation des hydrocarbures (Leahy et Cotwell, 1990).

La composition chimique du sol étudié indique un déficit en phosphore (0.20 (mg/l)) (voir Tableau.3). Selon Eckfordet *al.* (2002), la pollution des sols par les hydrocarbures a pour conséquence un déficit en azote et phosphore par rapport au carbone (2.12 %); ce qui peut limiter la biodégradation des hydrocarbures. Pour tout traitement biologique (bioremédiation et/ou pyto remediation), un enrichissement du sol par le phosphore et l'azote sera donc nécessaire.

La valeur obtenue de la matière organique est de 4.86% pour le sol polluée. On remarque une augmentation de la teneur en matière organique, ce sol est classé comme étant à un teneur élevée en MO. Selon Baize. (2004), ces résultats indiquent que les hydrocarbures utilisés provoquent une augmentation remarquable de la teneur de matière organique et le carbone au niveau de sol contaminé. Ceci expliqué par le fait que les principaux composants présents dans les hydrocarbures est le carbone et l'hydrogène d'après Ali Ahmed(2011)

Le dosage des hydrocarbures totaux dans le sol pollué fait ressortir une teneur de 0.586 g/Kg de sol, La teneur en hydrocarbures du sol pollué est largement supérieur à la Valeur Fixée par la norme hollandaise (0.1 g/kg de sol) (annexe 5) Ceci nous permet de dire que le sol de notre expérience est très pollué nécessitant un traitement adéquat. Cette pollution est causée artificiellement qui constitue une source de carbone importante pour les microorganismes du sol constate Akmoussi(2009) d'où la possibilité d'une biodégradation est noté.

4.3 Effet des hydrocarbures sur le sol

Afin d'évaluer les effets des hydrocarbures, les analyses suivantes ont été effectuées sur le sol contaminé non cultivé, le sol non contaminé cultivé et le sol contaminé cultivé avec les deux espèces (haricot et Fève)

4.3.1 Humidité

Les résultats de tests de l'humidité dans les différents sols sont illustrés dans (le tableau 4 et la figure 25)

Tableau 4. Pourcentage de l'humidité dans les sols testés

	Pot	fève	haricot	Témoin (CNCU)
SNCCU	pot 1	15.135	14.025	2.502
	pot2	13.62	12.518	2.404
	pot 3	13.325	12.825	2.27
la moyenne	X	14.03	13.12	2.39
SCCU	pot 1	16.344	15.899	
	pot 2	15.62	11.896	
	pot 3	14.626	13.104	
la moyenne	x	15.53	13.63	

Sachant que SNCCU : sol nu contaminé cultivé, SCCU : sol contaminé cultivé, SCNCU : sol contaminé non cultivé.

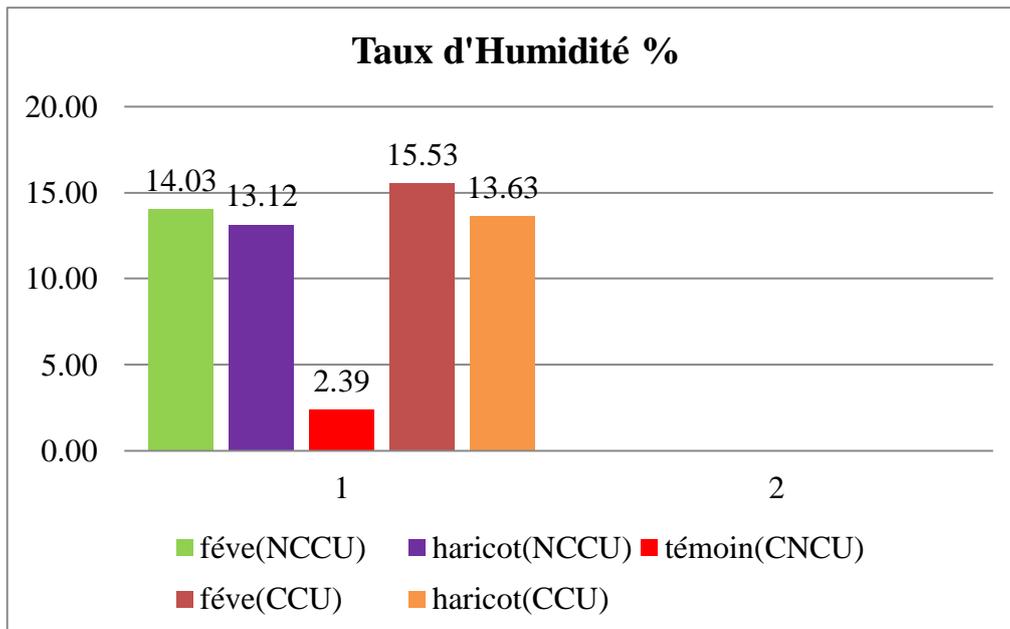


Figure 25. Résultats de taux d'humidité dans les différents sols testés en (%).

Pour les sols non contaminés cultivés (voir figure.25), nous avons le sol portant la fève présente un taux d'humidité de 14.03%, et le haricot qui portant 13.12%.

Pour les sols contaminés cultivés avec les deux espèces végétales (voir figure.25), nous avons trouvés un taux d'humidité estimés de 15.53% pour la fève et de 13.63% pour le haricot.

Selon les résultats rapportés par la figure 25, il y'a une forte diminution du taux d'humidité dans le sol contaminé non cultivé (2.39%) par rapport les autres sols.

D'après ces résultats la fève atteint la plus grande valeur dans les deux sols (contaminée et non contaminé) avec 15.53% et 14.03%, nous avons constaté que les résultats de la teneur en eau du sol ont montré que la présence des plantes favorisait l'augmentation de la teneur en eau du sol (par rapport au sol initial non contaminé et non cultivé marquant 4.983%), cela plus probablement dû à l'arrosage régulière des plantes (le suivi de culture) confirme Susarla et al. (2002) dont les plantes jouent un rôle important dans la régulation de l'eau contenu dans le sol.

Le taux d'humidité de sol (contaminé et non contaminé) cultivé par les deux espèces (fève et l'haricot) (tableau 4) est entre 15.53% à 13.12%. La valeur est dans la marge optimale favorable à la biodégradation des hydrocarbures. Beaucoup de chercheurs comme (Ballerini, 1999) considèrent que la teneur en humidité est un facteur limitant important dans la

biodégradation .Des taux d'humidité du sol inférieurs à 2% limitent la croissance microbienne et les vitesses de biodégradation (Ballerini, 1999 ; Davis et Madsen, 1996).

Contrairement aux résultats trouvés par Dali et Iddir (2018), La mesure du taux d'humidité des échantillons de sol montre que le taux d'humidité des sols contaminés cultivés avec les deux espèces est supérieur (exemple la fève 15.53%) par rapport au taux d'humidité des sols non contaminé cultivé par les mêmes espèces (exemple la fève 14.03%).

La présence d'eau dans le sol est essentielle à la biodégradation puisqu'elle permet aux microorganismes de se mouvoir à travers la macro agrégat des sols et d'activer les processus métaboliques de ceux-ci. L'eau permet également à l'hydrocarbure aromatique polycyclique de se solubiliser relativement, leur permettant de passer de la phase liquide de sol pour ainsi devenir accessible aux microorganismes (Benyahia et Mahdaoui, 2012).

4.3.2. Potentiel d'hydrogène

La figure 26 et le tableau 5, illustre la mesure du pH des différents sols non contaminés et contaminés cultivés par les deux espèces et le contaminé non cultivé.

Tableau 4. Valeurs de pH enregistrés dans les sols testés.

	Pot	Fève	Haricot	témoin (CNCU)
SNCCU	pot 1	8.58	8.61	8.42
	pot 2	8.33	8.29	8.43
	pot 3	7.95	8.2	8.85
la moyenne	X	8.29	8.37	8.57
SCCU	pot 1	8.14	8.56	
	pot 2	8.1	8.28	
	pot 3	8.09	8.3	
la moyenne	x	8.11	8.38	

Sachant que SNCCU : sol nu contaminé cultivé, SCCU : sol contaminé cultivé, SCNCU : sol contaminé non cultivé.

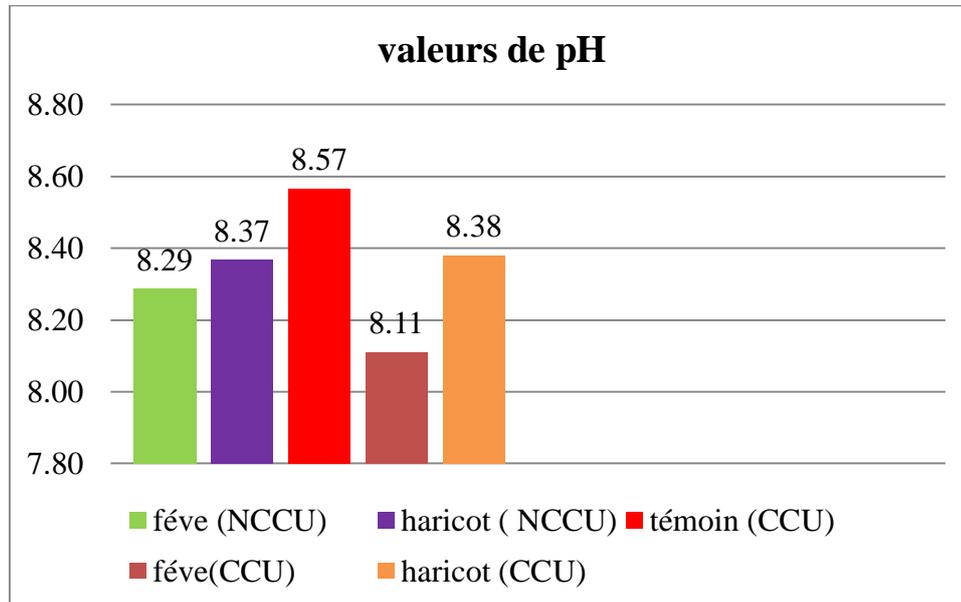


Figure 26. pH du sol cultivé par les deux espèces et du sol témoin.

Les résultats de nos analyses montrent que les sols sont classés soit en sol moyennement alcalin notamment SNC (sol non contaminé) cultivé par la fève (8.29), le SC (sol contaminé) cultivé par la fève (8.11), le SNC cultivé par le haricot (8.37) et le SC Cultivé par le haricot (8.38), soit en sol fortement alcalin à savoir le sol témoin (contaminé non cultivé) (8.57) selon les normes d'interprétation Baize(2004). D'après nos résultats, nous pouvons remarquer que le pH des sols cultivés est inférieur au pH du sol témoin(CNCU), Selon Morel (1990) *in*(Mekerri et Tazeboudjt ,2017) le pH du sol est modifié par la présence de racines vivantes et dépend de la plante et de son environnement physico-chimique.

Il ressort de ces résultats que le sol contaminé cultivé par la fève présente un pH inférieur par rapport à celui cultivé par le haricot ça peut être dû à son système racinaire développé (Berkouche et Hadjadj ,2015)

D'après (Njoku *et al.*, 2009) *in* (Zebiche et Semaani, 2015) la diminution du pH est due à la dégradation des hydrocarbures, elle pourrait être dû à l'accumulation des acides organiques produit lors de la dégradation dans le sol.

4.3.3 Conductivité électrique

Les résultats obtenus à partir le test de conductivité électriques sont présentés dans le tableau 6 et la figure 27.

Tableau 5. Valeurs de Conductivité électrique obtenus dans chaque pot pour les sols testés en $\mu\text{s}/\text{umho}$

	Pot	Fève	Haricot	Témoin (CNCU)
SNCCU	pot 1	2.33	2.2	3.3
	pot2	2.5	2.64	3.33
	pot 3	2.41	3.32	3.06
La moyenne	X	2.41	2.72	3.23
SCCU	pot 1	2.97	2.48	
	pot 2	2.47	2.95	
	pot 3	2.94	2.63	
La moyenne	x	2.79	2.69	

Sachant que SNCCU : sol nu contaminé cultivé, SCCU : sol contaminé cultivé, SCNCU : sol contaminé non cultivé.

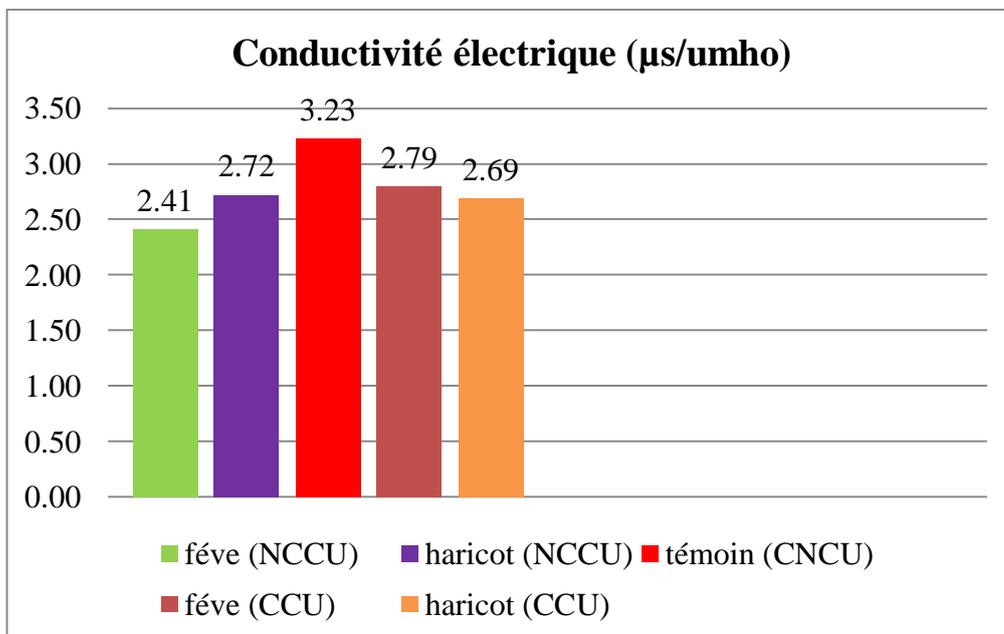


Figure 27. Conductivité électrique moyenne des sols cultivés par les deux espèces et dusol témoin.

D'après nos résultats rapportés par la figure 27 et le tableau 6 et selon les normes d'interprétation Baize(2004). Tous les sols sont faiblement salés avec des valeurs variables entre 2.41 $\mu\text{s}/\text{umho}$ à 2.79 $\mu\text{s}/\text{umho}$ pour les sols cultivés (soit contaminés ou non), la valeur la plus élevée est enregistrée dans le sol contaminé non cultivés 3.23 $\mu\text{s}/\text{umho}$. Les résultats de la conductivité électrique obtenus nous montrent qu'il n'y'a pas une différence significative entre les différents sols contaminés cultivés avec les légumineuses et non contaminés cultivés avec les légumineuses. Ces résultats sont identiques que celles obtenus par nombreux études tels que (Dali et Iddir (2018) ; Berkouche et Hadjadj (2015) ; Larabi et Moussi(2016)), et aussi a révélé que l'effet lié à la présence des hydrocarbures n'est pas significative.

La salinité diminue le nombre de microorganismes dans le sol, Elle ralentit les processus de l'humification et de la minéralisation des matières organiques. Lorsque la concentration en sels est trop élevée, les racines se développent mal et la croissance de la plante est ralentie selon Mathieu et Pieltain(2003).

A partir des résultats de la conductivité électrique nous avons calculé le taux de minéralisation des nôtres échantillons A partir de cette formule [taux de minéralisation (g/L)=CE*0.64] qui sont représentés dans le tableau et la figure sous dessous.

Tableau 6. Taux de minéralisation calculé pour chaque pot dans les sols testés en g/L.

	Pot	fève	haricot	témoin (CNCU)
SNCCU	pot 1	1.49	1.41	2.11
	pot2	1.6	1.69	2.13
	pot 3	1.54	2.12	1.96
la moyenne	X	1.54	1.74	2.07
SCCU	pot 1	1.9	1.59	
	pot 2	1.58	1.89	
	pot 3	1.88	1.68	
la moyenne	x	1.79	1.72	

Sachant que SNCCU : sol nu contaminé cultivé, SCCU : sol contaminé cultivé, SCNCU : sol contaminé non cultivé.

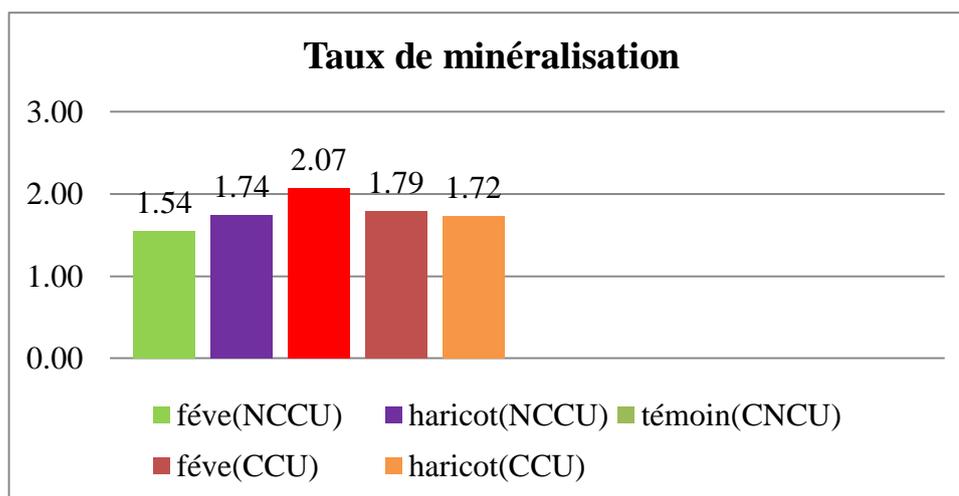


Figure 28.taux de minéralisation moyenne des sols cultivés par les deux espèces et du sol témoin.

4.3.4 Calcaire total

Tableau 7. Les valeurs de Calcaire total obtenus dans chaque pot pour les sols testés en (%)

	pots	fève	haricot	témoin (CNC)
SNCC	pot 1	34.85	32.5	34.28
	pot2	32.5	34.28	32.57
	pot 3	29.14	31.42	44.57
la moyenne	X	32.16	32.73	37.14
SCC	pot 1	28	33.4	
	pot 2	29.71	34.2	
	pot 3	26.85	31.42	
la moyenne	x	28.19	33.01	

Sachant que SNCCU : sol non contaminé cultivé, SCCU : sol contaminé cultivé, SCNCU : sol contaminé non cultivé. Concernant le taux de calcaire, nous avons classé les sols cultivés par les deux espèces (contaminés et non contaminés) et le sol contaminés non cultivés (témoin) dans la classe des sols fortement calcaires (de 25% à 50%) selon la norme de Baize(2004). Les résultats obtenus illustré dans la figure29 et le tableau 8 ont montrés que la contamination par le pétrole brut n'a pas d'effet sur le taux du calcaire dans le sol.

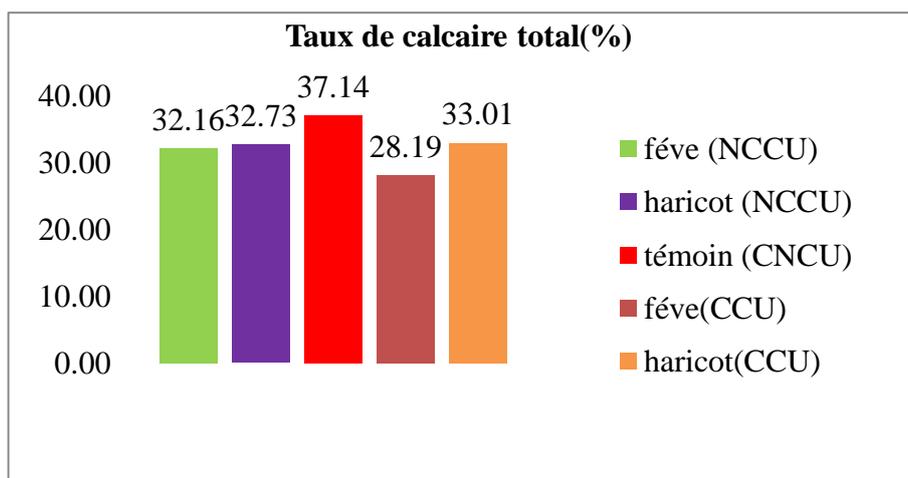


Figure 29. Taux moyenne du calcaire total des sols cultivés par les deux espèces et du sol témoin.

4.3.5 Matière organique

Les résultats du dosage de la matière organique est présenté dans la figure et le tableau sous dessous.

Tableau 8. Teneur en Matière organique obtenus dans chaque pot pour les sols testés en (%)

	Pots	Fève	Haricot	témoin (CNC)
SNCC	pot 1	0.45	0.94	5.27
	pot2	0	0.81	3.38
	pot 3	0	0.9	3.69
la moyenne	X	0.15	0.88	4.11
SCC	pot 1	1.3	2.16	
	pot 2	2.38	2.7	
	pot 3	3.87	3.56	
la moyenne	x	2.52	2.81	

La teneur en matière organique des sols analysés est comprise entre 0.15% et 4.11 %. Les taux les plus élevés sont enregistrés pour les trois sols contaminés (SC cultivé par la fève, SC cultivé par le haricot et SC non cultivé) atteignant 4.11% (figure 30). Selon les normes d'interprétation de Baize (2004), Ces derniers appartiennent à la classe des sols à teneur élevée en matière organique cette élévation peut être le résultat de la contamination des sols par le

pétrole brut. Contrairement à les sols non contaminé cultivé qui classer à la catégorie des sols très pauvre en matière organique (<1.4).

Selon nos résultats, le taux de matière organique dans le sol témoin(CNC) et les sols contaminés cultivés par les deux espèces est élevé par rapport aux sols non contaminés cultivés. Cela est dû à la présence des hydrocarbures qui a été confirmé par Solano et *al.* (2001) ; notent un enrichissement en matière organique des sols contaminés en hydrocarbures. Ils Rapportent que les produits pétroliers et leurs dérivés constituent les principaux polluants organiques des sols. Ces résultats concordent avec ceux de Mekerri et tazeoudjt (2017) et Dali et Iddir (2018), qui ont constaté une teneur en matière organique très importante à la source de la pollution.

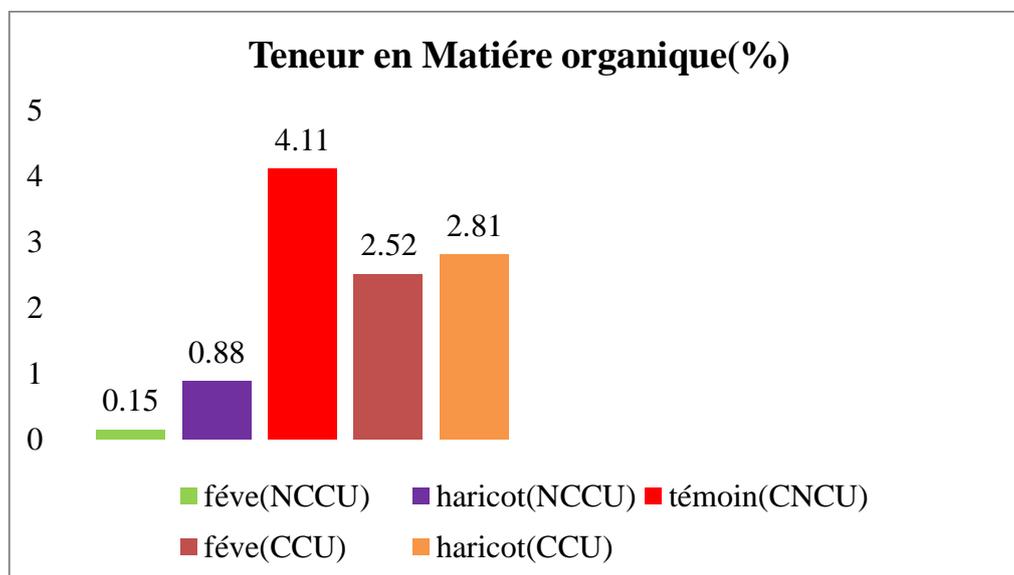


Figure 30 .Taux de la matière organique dans les sols cultivés par les deux espèces et du sol Témoin.

4.3.6 Teneur en carbone

Les résultats de la teneur en carbone dans les deux sols contaminés (cultivé et témoin) et les sols non contaminé cultivé avec les deux espèces présentés dans la figure 31 et le tableau 10.

Tableau 9.Teneur en carbone obtenu dans chaque pot pour les sols testés en (%).

	Pot	fève	haricot	témoin (CNCU)
SNCCU	pot 1	0.2	0.41	2.29
	pot 1	0	0.35	1.47
	pot 1	0	0.39	1.61
la moyenne	X	0.07	0.38	1.79
SCCU	pot 1	0.57	0.94	
	pot 1	1.04	1.18	
	pot 1	1.69	1.55	
la moyenne	X	1.10	1.22	

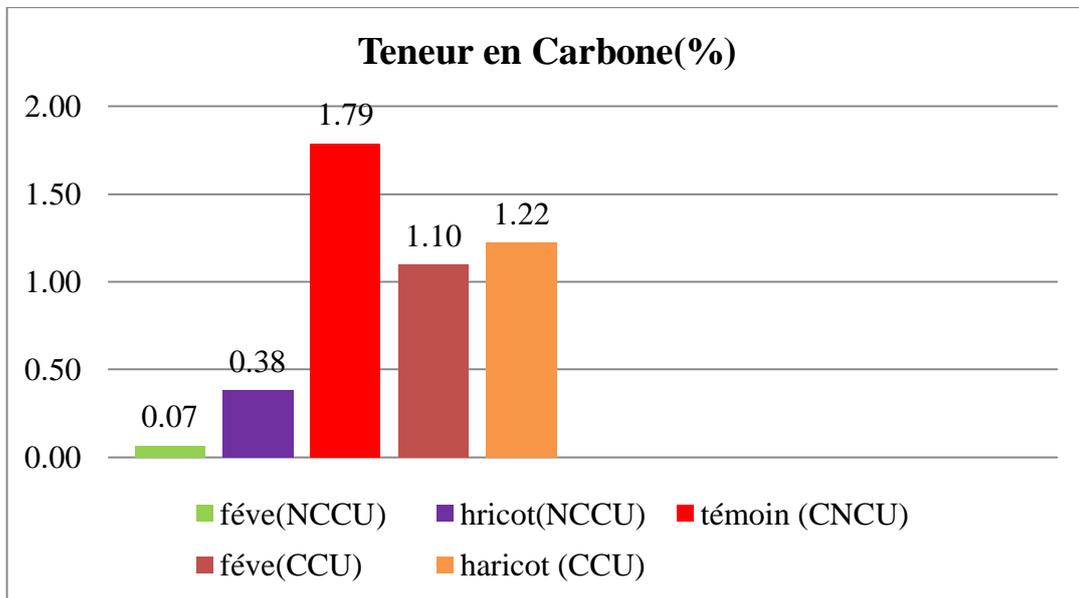


Figure 31.Teneur en carbone dans les sols cultivés par les deux espèces et du sol Témoin.

Sachant que SNCCU : sol non contaminé cultivé, SCCU : sol contaminé cultivé, SCNCU : sol contaminé non cultivé. Concernant le taux de calcaire, ces résultats Montrent que le taux decarbone varie dans les deux sols (de 0.07% à 1.79%), nous avons constaté qu’il

y'a une forte augmentation de carbone dans les sols contaminés par rapport aux sols non contaminés. Cette élévation confirmée les résultats précédents de la teneur en matières organique qui résultent à une pollution des sols par les hydrocarbures. Il faut souligner que les hydrocarbures contiennent une concentration élevée en carbone de 84 à 87% ce qui a été confirmé aussi par Mortet(2019), en effet ils sont considérés comme étant des polluants organiques. Cette pollution causée par les hydrocarbures constitue une source de carbone importante pour les microorganismes du sol selon Akmoussi(2009) d'où la possibilité d'une biodégradation.

4.3.7 Teneur en quelques sels minéraux

4.3.7.1 Teneur en calcium, magnésium et en potassium

Concernant les résultats des concentrations de la teneur en calcium, magnésium et en potassium obtenu pour tous les échantillons ne représentant pas une différence, significative, dont nous avons enregistré la teneur en calcium pour le haricot dans un sol (NCCU) est de l'ordre de 10.47 (meq /L), avec une concentration de 13.53 (meq /L) pour le témoin (CNCU) enregistrant la valeur la plus élevée (voir figure.32 et tableau.11).

Tableau 10. Teneur en dans chaque pot pour les sols testés en (meq /L).

	pot	fève	haricot	témoin (CNCU)
SNCCU	pot 1	11	11.8	14
	pot 2	13.4	9.6	14.2
	pot 3	11.6	10	12.4
la moyenne	X	12	10.47	13.53
SCCU	pot 1	11.4	11.6	
	pot 2	12.8	12.8	
	pot 3	13.8	10.4	
la moyenne	X	12.67	11.60	

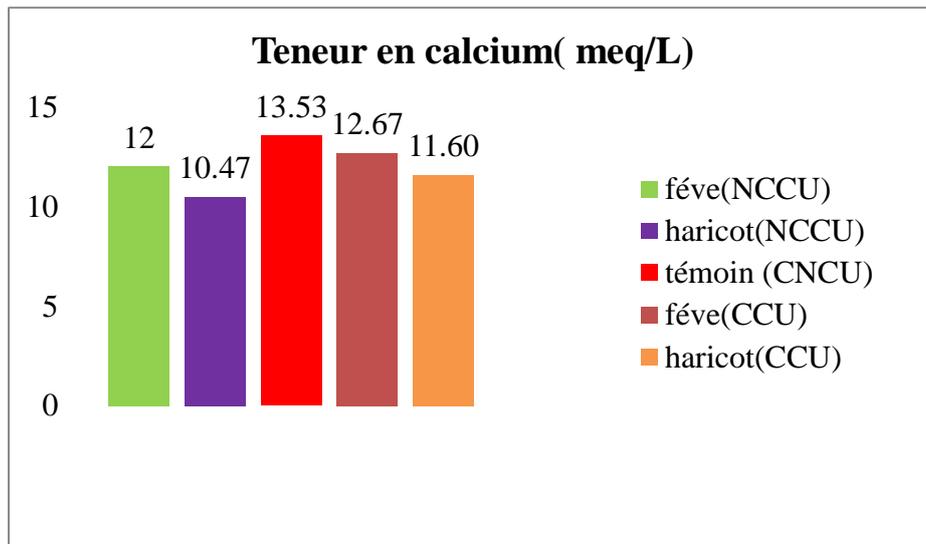


Figure 32. La teneur moyenne en calcium dans les sols cultivés par les deux espèces et du sol Témoin.

Pour les résultats de dosage de magnésium nous avons enregistré 3.53 (meq /L) pour le haricot (SNCCU) (la teneur la plus faible) et 4.73 (meq /L) pour le haricot(SCCU), le témoin (CNCU) et aussi pour la fève dans un sol(NCCU), cependant la fève dans un sol(CCU) enregistre une moyenne de 4.60 (meq /L)(voir figure.33,tableau.12)

Tableau 11.Teneur en Magnésium obtenu dans chaque pot pour les sols testés en (meq/L).

	pot	fève	haricot	témoin (CNCU)
SNCCU	pot 1	6	4.2	6.8
	pot 2	4.2	4.4	2.4
	pot 3	4	2	5
la moyenne	X	4.73	3.53	4.73
SCCU	pot 1	2.2	2.4	
	pot 2	4	5	
	pot 3	7.6	6.8	
la moyenne	X	4.60	4.73	

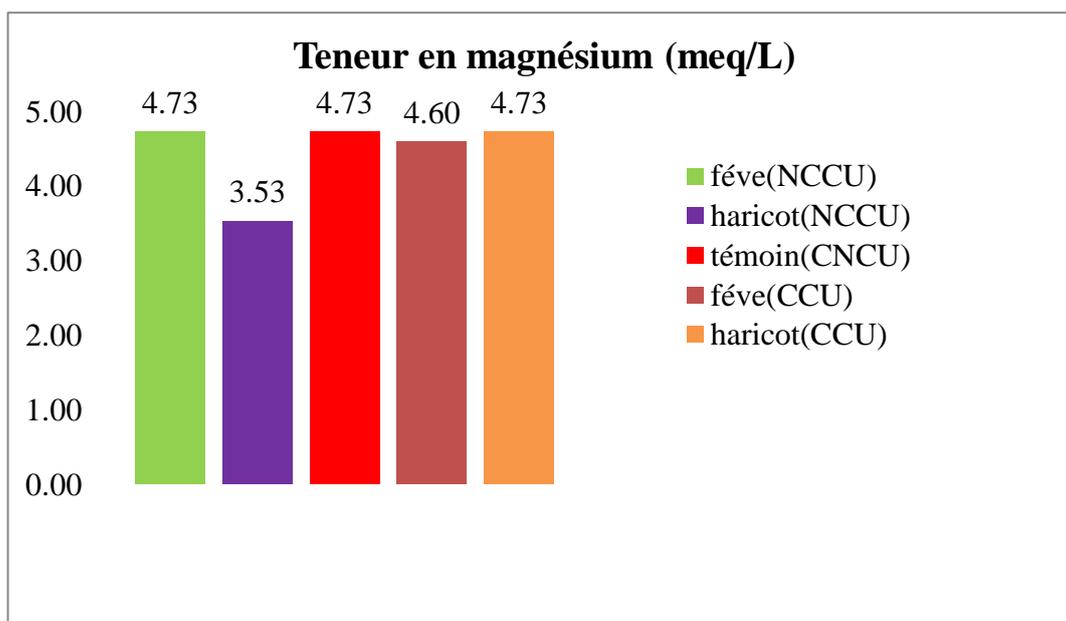


Figure 33. Teneur moyenne en Magnésium dans les sols cultivés par les deux espèces et du sol Témoin.

Une certaine fluctuation du teneur en potassium est marquée, dont nous avons marqués que la teneur en potassium dans les sols non contaminés cultivés est de l'ordre de (152.32mg/ml pour la fève et 131.92mg/ml pour le haricot) est supérieurs à celle des sols contaminés cultivés avec les deux espèces végétales (124.016mg/ml pour la fève et 115.92mg/ml pour le haricot) et supérieur aussi au celles des sols contaminés non cultivé (87.61mg/ml) (voir figure 34 et tableau 13)

Tableau 12. Teneur en potassium obtenu dans chaque pot pour les sols testés en (mg/ml).

	pot	fève	haricot	témoin (CNCU)
SNCCU	pot 1	140.19	152.32	103.79
	pot 2	152.32	225.12	79.52
	pot 3	164.46	18.33	79.52
la moyenne	X	152.32	131.92	87.61
SCCU	pot 1	115.92	115.92	
	pot 2	115.92	128.06	
	pot 3	140.19	103.79	
la moyenne	X	124.01	115.92	

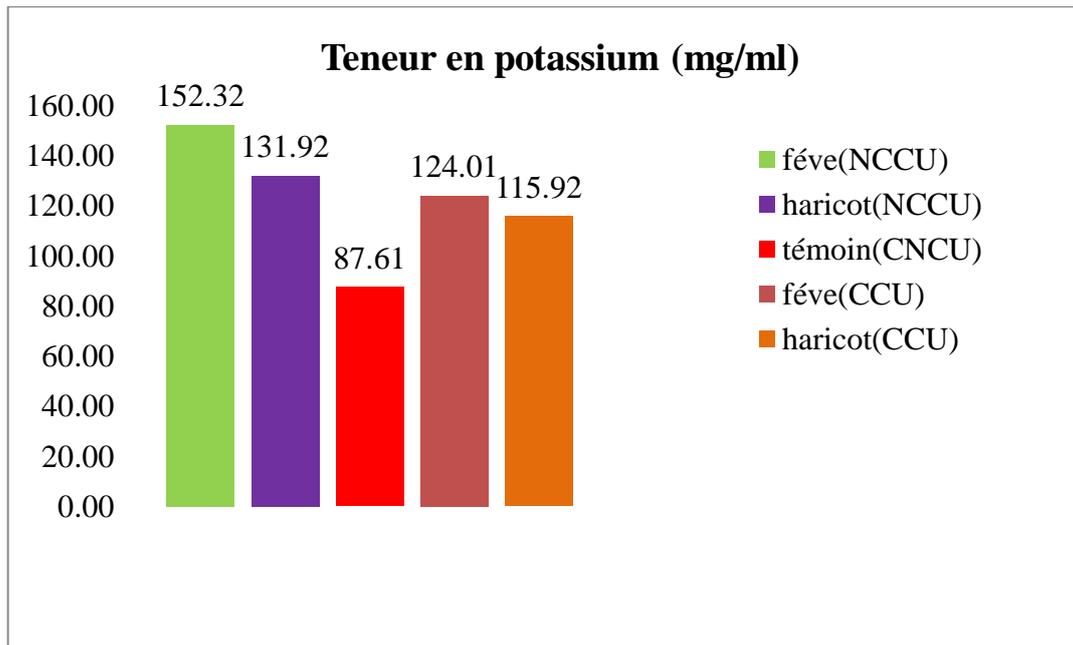


Figure 34. Teneur moyenne en potassium dans les sols cultivés par les deux espèces et du sol Témoin.

D'après ces résultats nous constatons que la contamination par le pétrole brut n'a pas d'effet sur le teneur en calcium, magnésium et en potassium dans le sol.

Ces sols comporte une moyenne capacité d'échange cationique due aux concentrations modérés de cations responsables à l'adsorption, on enregistre des valeurs de Ca^{++} (12.054 meq/100g) et Mg^{++} (4.464 meq/100g) par rapport une supériorité aux K^+ (122.356 mg/ml). Le taux de Ca^{++} est en relation avec le taux élevés de carbonate de calcium (CaCO_3) donnant des sols fortement calcaires (tableau 8). (Mortet, 2019)

4.3.7.2 Teneur en phosphore

Le taux de phosphore dans les sols cultivés par les deux espèces et du sol témoin sont présentés dans la figure 35 et le tableau 14.

Tableau 13. Teneur en phosphore obtenu dans chaque pot pour les sols testés en (mg/ml).

	Pot	fève	haricot	témoin(CNCU)
SNCCU	pot 1	84.2	32.12	0
	pot 2	59.03	10.42	0
	pot 3	120.66	87.67	8.68
la moyenne	X	87.96	43.40	2.89
SCCU	pot 1	0	232.64	
	pot 2	20.83	0	
	pot 3	72.92	0	
la moyenne	X	31.25	77.55	

Sachant que SNCCU : sol non contaminé cultivé, SCCU : sol contaminé cultivé, SCNCU : sol contaminé non cultivé, La teneur de phosphore dans les sols analysés est comprise entre 2.89 (mg /ml) et 87.96 (mg/ml). Les taux les plus élevés sont enregistrés pour les deux sols non contaminés (SNC cultivé par la fève, SNC cultivé par le haricot) atteignant jusqu'à 87.96 (mg/ml).

Concernant le sol contaminé, nous avons enregistré un taux de 31.25 (mg/ml) pour le SC cultivé par la fève et un taux fortement inférieur pour le témoin (SC non cultivé) avec une valeur de 2.89 (mg/ml).

Par ailleurs, les résultats obtenus pour le SC cultivé par le haricot est de 77.55 (mg/ml), expliquant que la plante stade juvénile améliore et augmente la teneur en phosphore dans cette sol de manière hautement significatif que celle de la fève dans un sol contaminé qui enregistré 31.25 (mg/ml) de phosphore plus que le sol témoin (CNCU).

D'après Ranger J (2001) Le phosphore est parmi les nutriments les plus importants dans les processus microbiens il est impliqué dans le transport d'énergie sous forme de triphosphate d'adénosine. L'azote et le phosphore sont indispensables à la croissance. Ils sont surtout abondants dans les organes des jeunes plantes. Ils favorisent essentiellement la respiration, la photosynthèse et le développement des racines.

Le phosphore joue le rôle d'une véritable centrale énergétique à l'échelle bactérienne, il permet la récupération, l'accumulation et la distribution de l'énergie dans la cellule. En effet une faible disponibilité du phosphore limite la croissance bactérienne et donc la biodégradation des composés organique (les hydrocarbures) D'après Bonneau (1995).

Selon Eckford et *al.* (2002), la pollution des sols par les hydrocarbures a pour conséquence un déficit en azote et en phosphore (ce qui confirme notre inférieure valeur obtenus dans les sols contaminé cultivé par la fève (31.25 mg/ml) et les sols contaminé non cultivé (2.89mg/ml) par rapport à celle obtenus dans les sols non contaminé qui attient jusqu'à 87.96mg/ml), ce qui peut limiter la biodégradation des hydrocarbures. Pour tout traitement biologique, un enrichissement du sol avec ces éléments sera donc nécessaire. L'azote et le phosphore sont des facteurs limitant la biodégradation des hydrocarbures dans les sols (Wiliam et Gordon, 2000).

SCow et *al.* (2003) in (Bouderhem, 2011) rapportent que dans les environnements aérobies les éléments limitant les plus susceptibles sont l'azote et le phosphore. Ainsi, dans de telles conditions, il est probable que la biodégradation soit limitée.

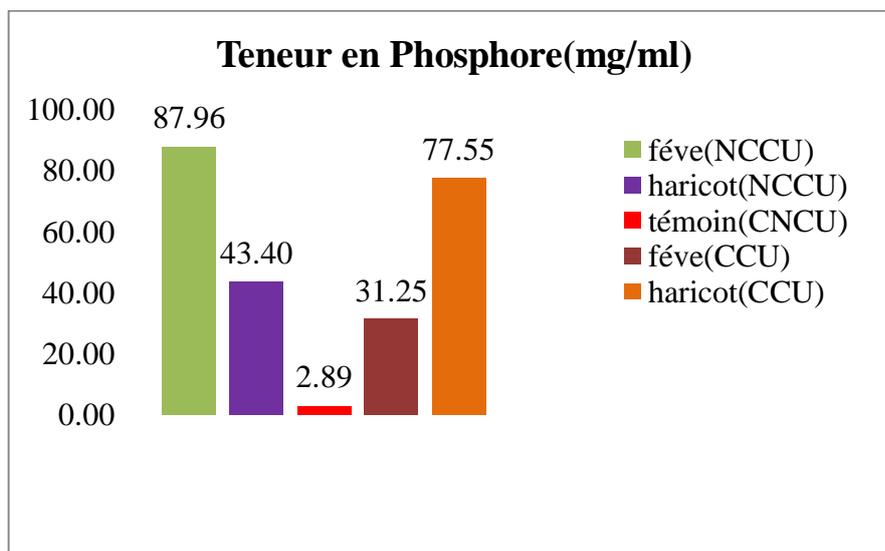


Figure 35. Teneur moyenne en phosphore dans les sols cultivés par les deux espèces et du sol Témoin.

4.4 Effets des hydrocarbures sur le rendement des espèces

4.4.1 Taux de levée des plantes

La levée constitue un premier diagnostic de réussite d'une culture. Une mauvaise levée peut avoir plusieurs causes liées à la conduite culturale (semis trop profond ou trop

superficiel), climat ou à des parasites affirme Kessi(2015). Plusieurs expériences ont été effectuées afin d'évaluer la capacité de deux espèces végétales à dépolluer le sol contaminé par les hydrocarbures. Les figure et le tableau suivante représente le taux de levée des plantes d'haricot et la fève au niveau du sol non contaminé et le sol contaminé.



Figure36. Taux de levée des plantes (le haricot et la fève) dans les sols non contaminés(A) et sols contaminés (B) (photo originale).

Tableau 14. Taux de levée pour les deux espèces.

Espèce	la fève		l'haricot	
	SNC	SC	SNC	SC
le sol				
taux de levée(%)	100	86.667	86.667	53.333

Sachant que SNCCU : sol non contaminé cultivé, SCCU : sol contaminé cultivé, SCNCU : sol contaminé non cultivé, Notre résultats montre que le taux de levée des espèces *Phaseolus vulgaris* et *Vicia faba* est hautement significatif pour le sol non contaminé par le pétrole brut avec des valeurs respectives de 86,67% et 100 %. Cependant, dans les sols contaminés par le pétrole brut, le taux de levée est faible pour le haricot il est de l'ordre de 53,33% et il est augmenté jusqu'à 86,67% pour la fève.

D'après ces résultats, nous constatons, une diminution des taux de levées dans les sols Contaminés par le pétrole cultivés avec les légumineux par rapport aux sols non contaminés cultivés avec les deux espèces (la fève et le haricot) la présence du pétrole dans le sol provoque un effet toxique sur la germination des graines de la fève et d' haricot.

Après avoir comparé ces résultats, nous constatons que le pétrole induit une inhibition des graines surtout où les concentrations est élevée (5%) ; qui peut être due à l'atteinte de l'embryon de la graine, ou encore aux modifications des caractéristiques physico-chimiques du sol. D'après dUdo et Fayemi, (1995) in Zebiche et Semaani (2015), les hydrocarbures peuvent entrer dans les graines, empêcher les réactions métaboliques et tuer l'embryon par une toxicitéaigüe directe. Il y a également une forte évidence que l'inhibition de la germination soit corrélée à l'hydrophobie des hydrocarbures qui empêche et/ou réduit les échanges d'eau et de gaz surtout l'oxygène.

La comparaison des résultats de ces deux espèces nous a permis de remarquer que les graines de la fève ont résisté plus que le haricot à cette concentration du pétrole (5%).

Le haricot est moins résistant que la fève à la présence des hydrocarbures. Bergues, (1986), a signalé que les effets des hydrocarbures sur la flore dépendent aussi de l'espèce végétale.

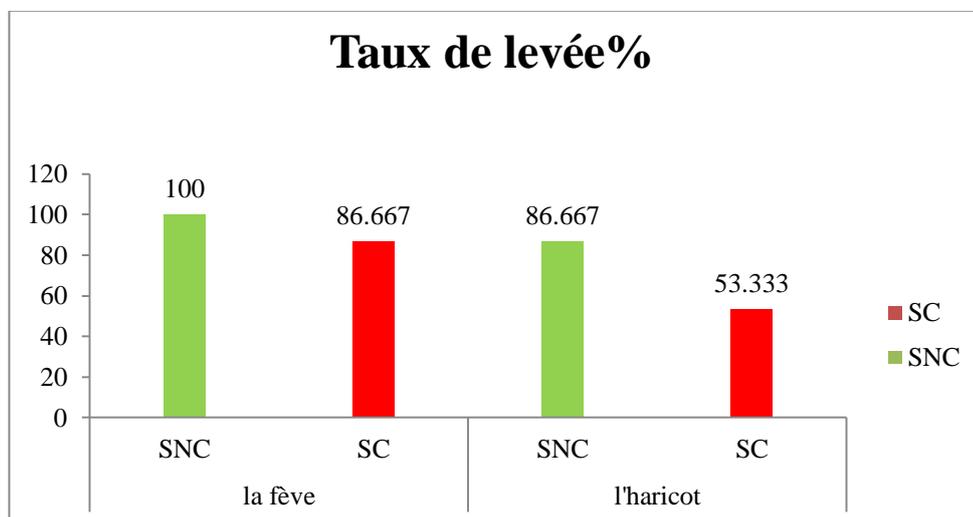


Figure 37. Impacte de la pollution sur le taux de levée des plantes.

4.4.2 Hauteur des plantes

D'après les figures et les tableaux suivants il est bien clair que le sol contaminé est défavorable au développement des plantes de la fève et de l'haricot.

Tableau 15. Hauteurs moyenne des plants de la fève cultivée sur le sol contaminé et non contaminé en (cm).

Durée	1ère.S	2ème.S	3ème.S	4ème.S	5ème.S	6ème.S	7ème.S	8ème.S
non contaminé	0.28	8.18	14.98	23.847	30.16	32.68	35.20	37.47
contaminé	1.54	9.33	14.93	22.28	26.06	28.76	30.57	32.55

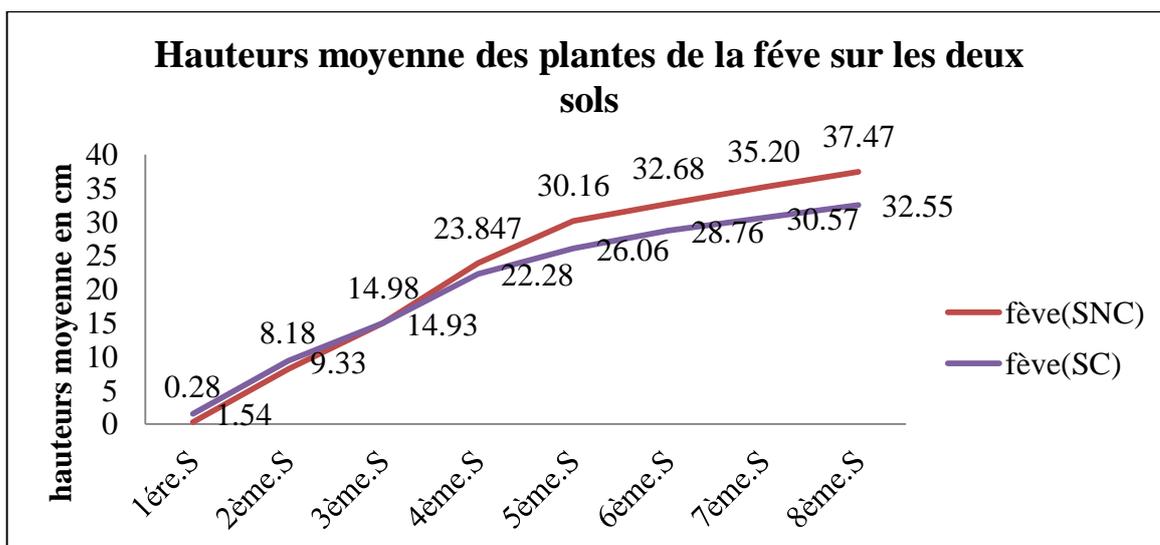


Figure 38. L'évolution de la hauteur des plants de la fève cultivées dans un sol contaminée et non contaminée durant 8 semaines.

Tableau 16. Hauteurs moyenne des plants de l'haricot cultivé sur le sol contaminé et non contaminé en (cm).

Durée	1ère.S	2ème.S	3ème.S	4ème.S	5ème.S	6ème.S	7ème.S	8ème.S
non contaminé	4.675	9.675	14.55	19.823	24.24	27.855	31.83	35.55
contaminé	3.06	6.31	9.89	13.69	15.08	15.80	16.76	17.94

Sachant que SNCCU : sol non contaminé cultivé, SCCU : sol contaminé cultivé, SCNCU : sol contaminé non cultivé.

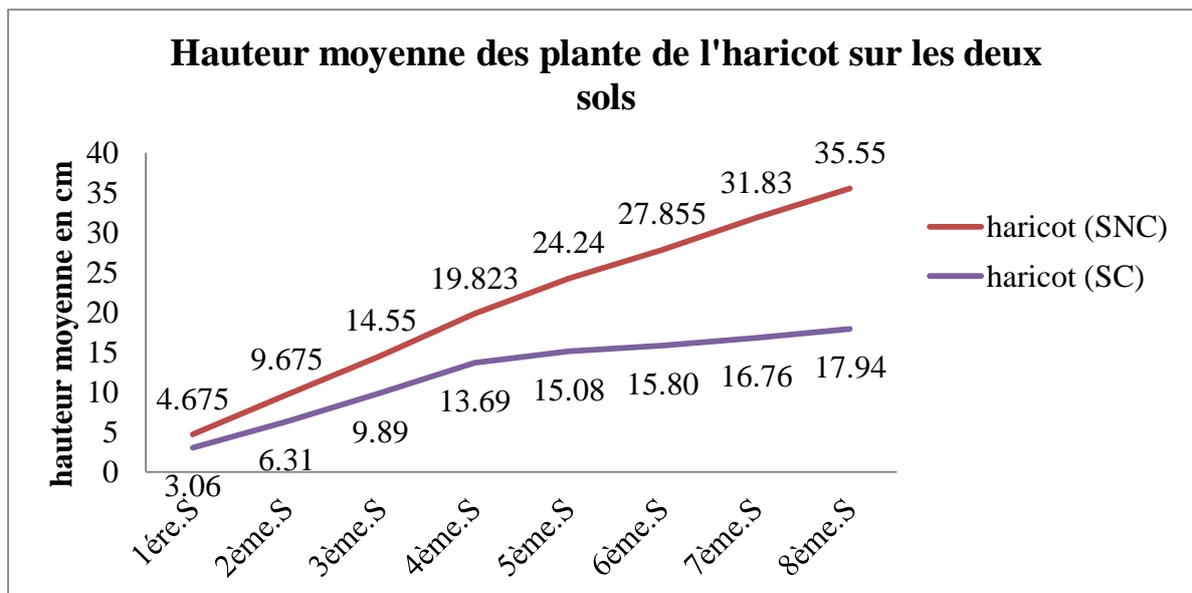


Figure 39. L'évolution de la hauteur des plantes de l'haricot cultivées dans un sol contaminée et non contaminée durant 8 semaines.

A la huitième semaine, nous avons remarqué que les plantes de la fève sur SNC ont atteint une hauteur moyenne de 37.47cm ; alors qu'elle est de 32.55 cm dans le SC. Cependant les plantes de l'haricot ont enregistré une hauteur moyenne de 35.55cm sur SNC, et une hauteur moyenne de 17,94 cm dans le SC.

Les moyennes des hauteurs de la fève dans les sols contaminés supérieures et augmentent pendant toute la durée de culture avec un rythme de croissance rapide par contre, pour le haricot cultivé dans le sol contaminé nous avons observé un rythme de croissance moins important que celui enregistré par la fève n'a pas dépassé 17,94 cm, ce qui explique que la fève représente une meilleure évolution, se réfère à la tolérance de la fève par rapport à l'haricot vis-à-vis la pollution par les hydrocarbures, ainsi qu'aux caractéristiques physiologiques ou génétiques de la fève.

Les hauteurs moyennes les plus importantes sont enregistrées par les plantes cultivées dans les sols non contaminés que celle dans les sols contaminés, Ceci permet de dire que la pollution du sol affecte d'une façon significative la croissance des plantes légumineuses testées et de façon différente, notre résultat est semblable à celles trouvées par Mekkerri et Tazeboudjt(2017) ; Berkouche et Hadjadj(2015)

Chaineu *et al.* (1997), ont associé la réduction de la croissance des plantes lors d'une contamination du sol par les hydrocarbures au déficit nutritif, un manque d'assimilation d'eau et d'éléments nutritifs et au changement des propriétés du sol causé par la présence des

hydrocarbures ils ont montré également que la concentration du pétrole brut à un effet sur la physiologie végétal.

4.4.3 Biomasse végétale

4.4.3.1 Biomasse aérienne

La figure 40 et le tableau 18 représentent la biomasse aérienne moyenne des deux espèces cultivées dans le sol non contaminé et le sol contaminé.

Tableau 17. La biomasse aérienne moyenne des deux espèces dans les deux sols en(g).

		fève	haricot
SNCC	pot 1	1.797	1.609
	pot 2	1.844	1.07
	pot 3	3.056	1.17
la moyenne	X	2.23	1.28
SCC	pot 1	1.773	0.683
	pot 2	1.341	0.168
	pot 3	1.576	1.198
La moyenne	X	1.56	0.683

Nous avons enregistré pour la fève une biomasse aérienne moyenne de 2.23 g dans le sol non contaminé. Elle est légèrement inférieure à celle enregistrée dans le sol contaminé avec une valeur de 1.56g Concernant le haricot, nous avons obtenu une biomasse aérienne moyenne de 1.28g dans le sol non contaminé et une biomasse aérienne très faible est enregistrée dans le sol contaminé avec une valeur de 0.68 g.

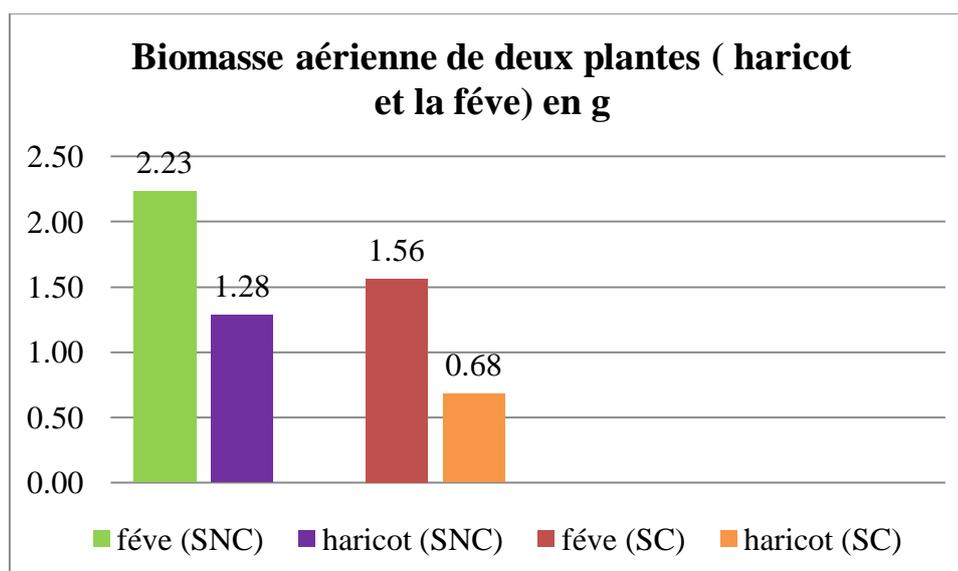


Figure 40. La biomasse aérienne moyenne des deux espèces dans le sol témoin (NC)

Et le sol contaminé

4.4.3.2 Biomasse racinaire

D'après les résultats de la figure 41 et le tableau 19, nous avons obtenu pour la fève, une biomasse racinaire moyenne plus élevée dans les sols non contaminé et contaminé avec une valeur de 1.51 g et 0.61 g respectivement, Une biomasse racinaire plus faible est enregistrée pour le haricot cultivé dans les sols non contaminé et contaminé avec des valeurs respectives de 0.50 g et 0.24g.

Tableau 18. La biomasse racinaire moyenne des deux espèces dans les deux sols en(g).

		fève	haricot
SNCC	pot 1	1.082	0.419
	pot 2	1.666	0.639
	pot 3	1.794	0.44
la moyenne	X	1.51	0.50
SCC	pot 1	0.946	0.237
	pot 2	0.135	0.015
	pot 3	0.763	0.459
La moyenne	X	0.61	0.24

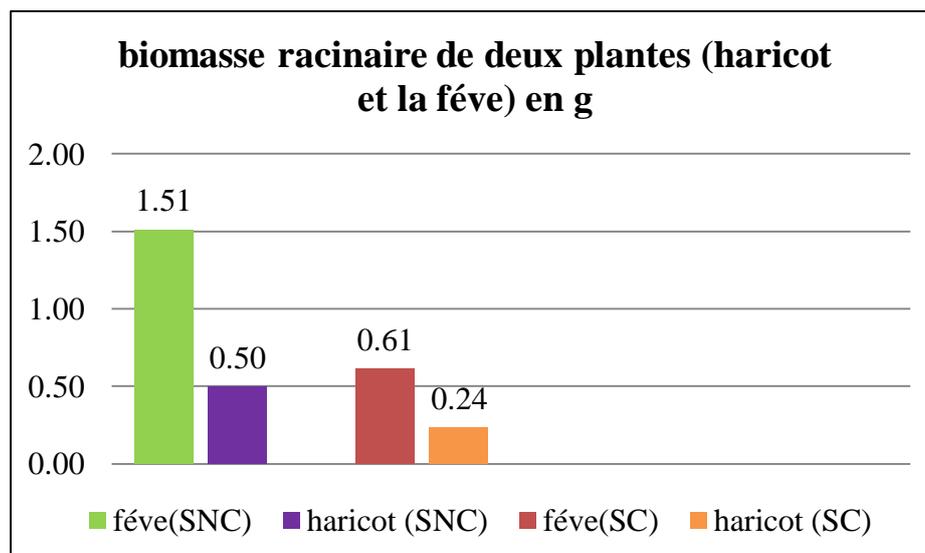


Figure 41. La biomasse racinaire moyenne des deux espèces (haricot et fève) cultivés dans les sols contaminé et non contaminé

Ces résultats apporté une diminution de la biomasse végétal (aérienne et racinaires) sous l'influence du pétrole brut.

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

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

En effet, l'accroissement des racines permet à la plante de pouvoir subvenir à ses besoins en azote sachant que l'azote est l'un des éléments essentiels pour la croissance des végétaux, Cette réduction de la biomasse végétale nous laisse penser aussi au sol qui est la source d'une grande partie des éléments nécessaires au développement des végétaux, le changement de ses propriétés (changement de la teneur en humidité, en pH et en matière organique ...etc. (Comme nous avons vu précédemment) influence sur la croissance végétale.

4.4.4 Longueur des racines

La figure 42 et le tableau 20 représente la longueur de la racine principale de la fève et de l'haricot dans le sol contaminé et le sol témoin (non contaminé).

Tableau 19. La longueur moyenne des racines de l'haricot et la fève dans les sols contaminés et non contaminés en (cm).

	fève		haricot	
	SNCF	SCF	SNCH	SCH
la longueur de racine	16.79 cm	14.13cm	19.33cm	6.67cm

Sachant que SNCF : sol non contaminé cultivé par la fève, SCF : sol contaminé cultivé par la fève, SNCH : sol non contaminé cultivé par le haricot, SCH sol contaminé cultivé par le haricot.

La longueur de la racine principale des plantes de la fève est de l'ordre de 16.79 cm et 14.13cm respectivement dans le sol témoin et le sol contaminé. La réduction de la longueur des racines n'est pas importante dans le sol contaminé et cela est due à la capacité de la fève à tolérer la pollution par les hydrocarbures.

Concernant la longueur de la racine principale du haricot, elle atteint 19.33cm au niveau du sol non contaminé elle n'est que de 6.67cm dans le sol contaminé.

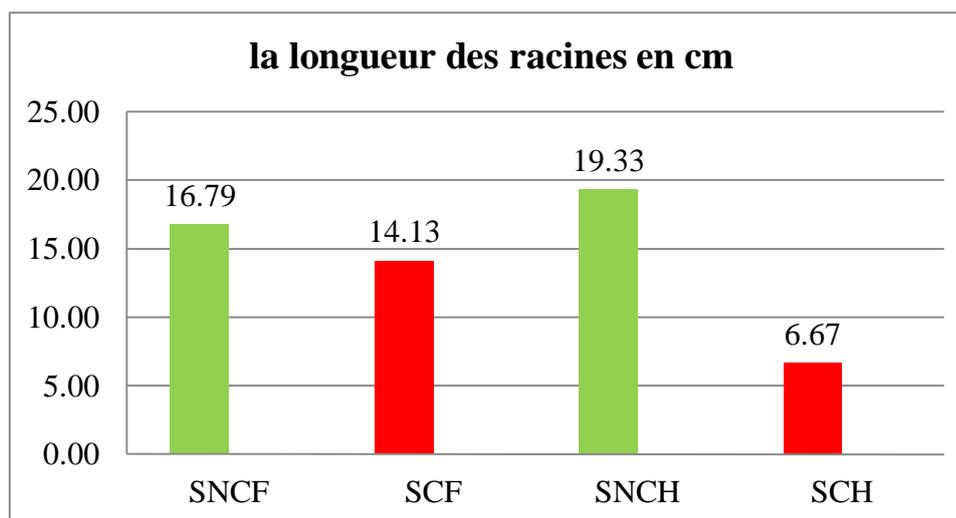


Figure 42. La longueur de la racine principale de la fève et de l'haricot dans les sols témoin et contaminé.

A partir de ces analyses concernant la longueur de la racine principale, nous constatons que la présence des hydrocarbures dans le sol induit une réduction de la croissance racinaire, nous avons remarqué la présence d'un système racinaire très développé avec de nombreuses ramifications pour les cultures dans les sols non contaminé tandis que les cultures des sols contaminés comportent une partie racinaire moins développée et moins ramifiée (surtout pour le haricot) ce qui explique la diminution du biomasse racinaire dans le sol contaminé (les résultats précédent), L'atteinte des racines peut être due au changement des propriétés du sol et/ou à la diminution de la quantité d'éléments nutritifs qui sont essentiels pour leur développement référant à *Chaineauet al.*(1997).

4.4.5 Nombre de feuilles

Les résultats des nombre moyen des feuilles des deux espèces cultivées dans le sol non contaminé et le sol contaminé sont représentés dans le tableau 21 et les figures 43 ,44 .

Tableau 20. L'évolution de nombres moyens de feuilles de l'haricot et la fève dans les sols contaminés et non contaminés au bout de deux mois.

	la fève		le haricot	
	SNC	SC	SNC	SC
1ère .S	0	0	0	0
2ème .S	2.67	3.25	2	2.11
3ème.S	2.42	4.48	2.4	2.07
4ème.S	5.73	6.32	3.32	2.6
5ème.S	9.6	8.92	6.1	3.6
6ème.S	13.67	11.62	8.4	1.73
7ème.S	17.2	13.69	11.33	2.2
8ème.S	21.13	16.21	14.02	2.33

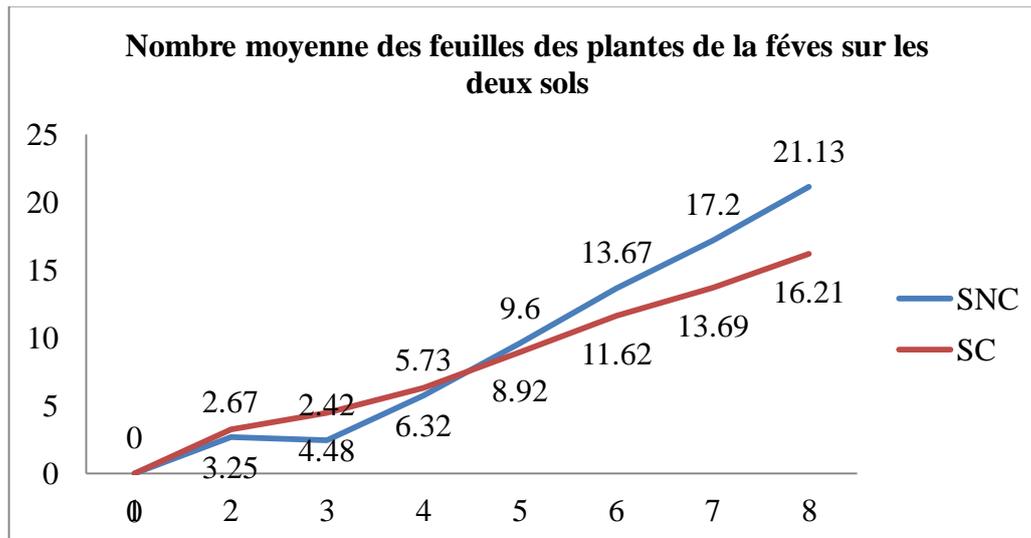


Figure 43. Nombre moyen des feuilles de fève cultivés dans les sols contaminé et non contaminé.

Pendant la huitième semaine de culture la fève atteint un nombre moyen de feuilles de 21.13 dans les sols non contaminé, nous avons remarqué que les feuilles de la fève cultivée dans le sol contaminé elles jaunissent et se dessèchent (voire annexe3) ce qui explique la baisse du nombre moyen des feuilles qui atteint de 16.21 pour la fève cultivée dans le sol contaminé.

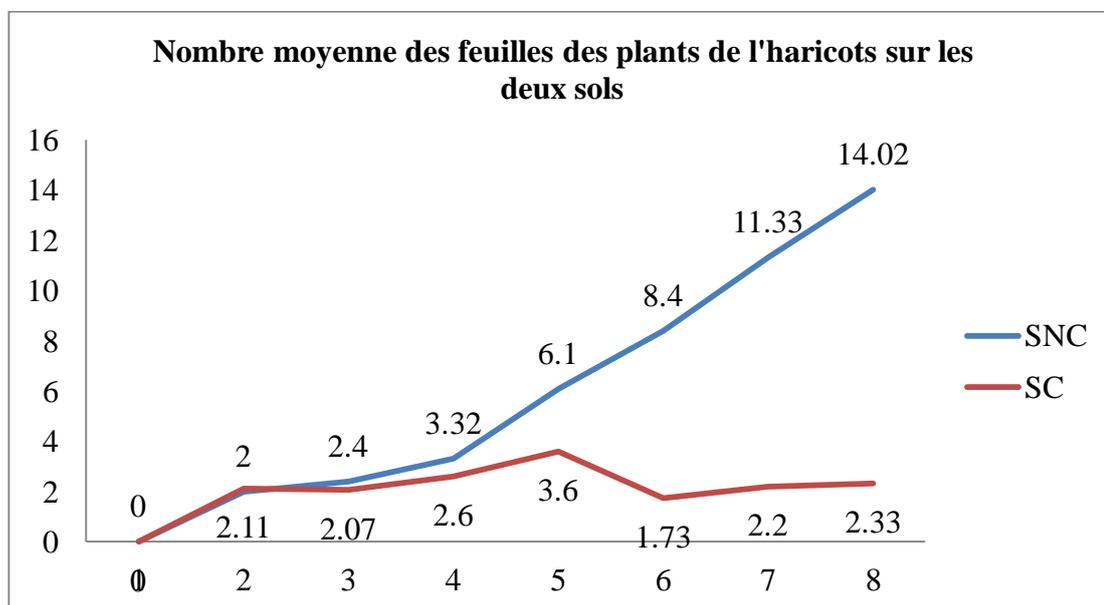


Figure 44. Nombre moyen des feuilles de l'haricot cultivés dans les sols contaminé et non contaminé.

Concernant le haricot, nous avons constaté une valeur maximale de 14.02 feuilles dans le sol non contaminé et une valeur qui ne dépasse pas 2.33 feuilles dans le sol contaminé au bout de la huitième semaine.

L'effet toxique du pétrole brut a été bien exprimé chez les feuilles des deux espèces, qui présentant des jaunissements et la réduction de la surface foliaire des feuilles et Nous avons remarqué aussi que au bout de la croissance, les feuilles des plantes sont petites. Ces résultats peuvent être due aux changements des propriétés physico-chimiques du sol qui influent sur le développement du système foliaire.

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

Le nombre moyen des feuilles le plus inférieur dans nos études est enregistré par le haricot (dans les sols contaminé), selon Norini (2007) les haricots cultivés dans les sols contaminés par le pétrole brut développent des déformations dans les feuilles et un retard significatif de la croissance.

- D'après l'ensemble des résultats de l'effet des hydrocarbures sur le rendement des plantes, On conclure que Pour s'adapter au stress, la plante peut éviter les dommages par la réduction de la croissance référant à Zhu(2002). C'est l'effet le plus commun des stress abiotiques sur la physiologie des plantes ; la réduction de la croissance est une capacité adaptative nécessaire à la survie d'une plante exposée à un stress. En effet, ce retard de développement permet à la plante d'accumuler de l'énergie et des ressources pour combattre le stress avant que le déséquilibre entre l'intérieur et l'extérieur de l'organisme n'augmente jusqu'à un seuil où les dommages seront irréversibles confirme Mortet(2019).

4.5 Efficacité de la phytoremédiation :

Dans le but d'évaluer l'efficacité de phytoremédiation nous effectuons d'une part une estimation des quantités d'hydrocarbures totaux dissipés et d'autre part la réalisation des tests de germination de blé.

4.5.1 Taux d'extraction des hydrocarbures

La figure 46 et le tableau suivant représente la moyenne des taux d'hydrocarbure totaux HCT retrouvés dans les sols contaminés.

Tableau 21. Résultats de l'extraction des hydrocarbures dans le sol pollué avant et après les cultures et dans le sol témoin.

plantes	Avant culture (g/kg sol)	Après culture (g/kg sol)	Pert d'hydrocarbures totaux(HT)	% de la perte d'hydrocarbures totaux (HT)
fève	0.528	0.124	0.404	40.4%
haricot	0.516	0.223	0.293	29.25%
témoin(CNCU)	0.586	0.349	0.237	23.73%

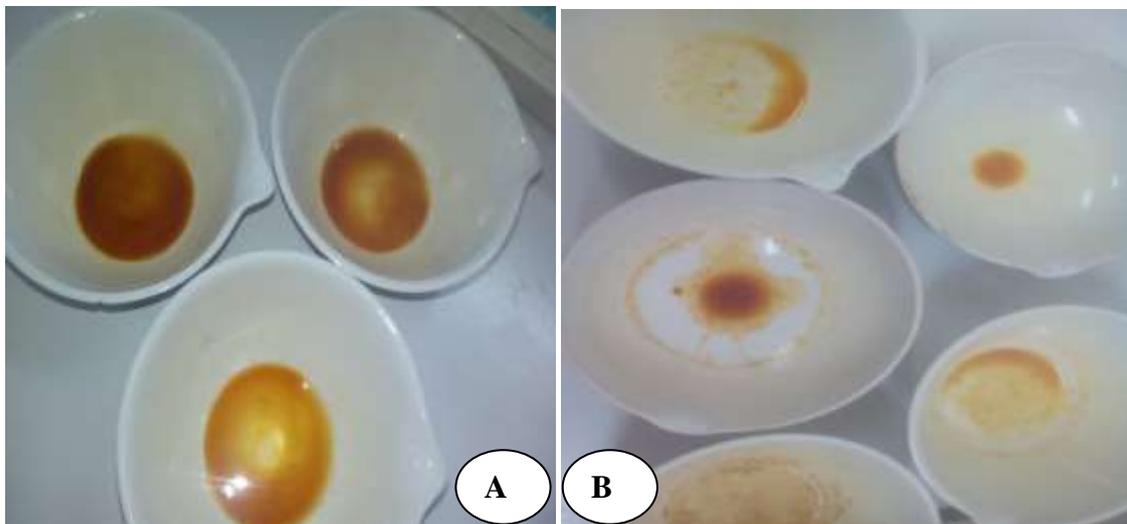


Figure 45. Résultats de l'extraction des hydrocarbures dans le sol pollué avant (A) et après deux mois (B) dans le sol témoin et les sols contaminés cultivés.

Selon les résultats obtenus nous constatons que le taux d'hydrocarbure dissipé atteint un pourcentage de 40.4% pour la fève, 29.25 % pour le haricot, alors qu'il atteint 23.73% dans le sol non cultivé (témoin).

Le taux d'hydrocarbure dissipé le plus élevé a été enregistré donc par la culture de fève, ce qui explique que cette plante elle est hyperaccumulatrice suivi par le haricot que n'est pas supporté la pollution peut être dû à d'autres polluants présents tels que les métaux lourds dont le sol contaminé et en fin le témoin (contaminé non cultivé).

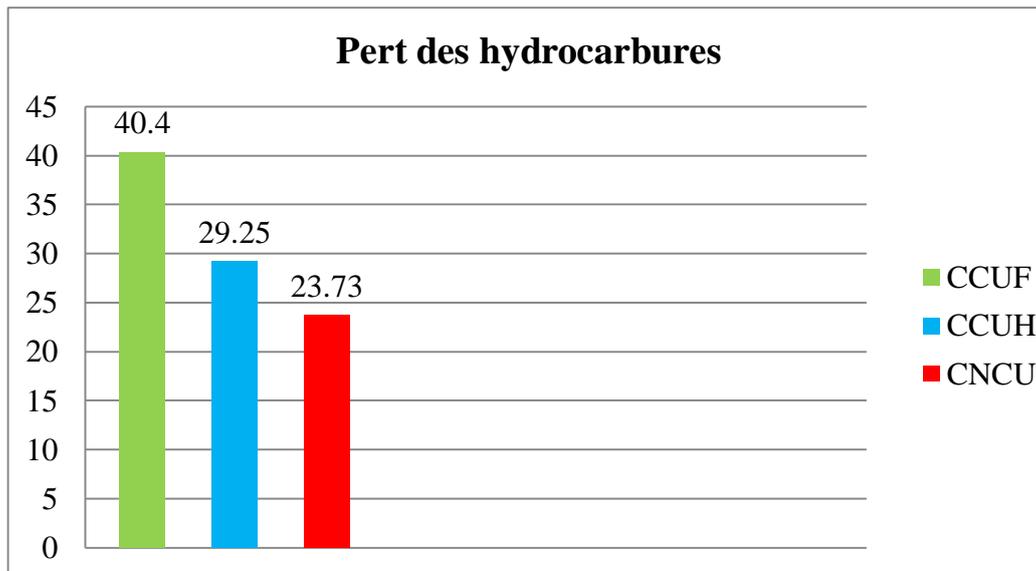


Figure 46. Comparaison des taux d'hydrocarbure totaux dissipé dans le sol contaminé cultivé par le haricot et la fève Après phytoremédiation et le sol contaminé non cultivé (témoin).

La diminution de la quantité des hydrocarbures dans les sols après cultures par rapport à celle avant la culture, est probablement due à la biodégradation de ces hydrocarbures. Comme le montre les résultats obtenus, la biodégradation est plus importante dans le cas de fève par rapport à l'haricot. Cela est expliqué par le fait que la biodégradation des hydrocarbures par les plantes est en fonction de l'espèce,

La diminution de la quantité des hydrocarbures au niveau des sols témoins est probablement due à l'activité bactérienne.

Dans les sols, les hydrocarbures subissent une élimination progressive sous l'influence de processus abiotiques (volatilisation, oxydation ...) ou biotiques (dégradation et minéralisation microbiennes).

En présence de plante, une stimulation et une accélération de la dissipation des hydrocarbures peut être observée (ce qui confirme nos résultats), résultant souvent d'une augmentation du nombre de bactéries dégradantes. Confirme Morel(2002).

De même, lorsque les exsudats sont la seule source de carbone, la dégradation des hydrocarbures est plus rapide, démontrant ainsi le rôle majeur des composés exsudés. La rhizosphère est un habitat favorable aux micro-organismes capables de dégrader les composés organiques récalcitrants. Par effet direct, les exsudats augmentent les populations microbiennes et leur activité dégradante et induisent des processus de dégradation. D'après Morel(2002)

Enfin, les mycorhizes sont aussi un facteur important de dissipation des HAP dans un large volume de sol entourant les racines. Les plantes pourraient également de stocké le polluant et L'absorption par les racines et la translocation vers la partie aérienne. Et aussi libérer des émulsifiants qui aideraient à la mise en solution des hydrocarbures et leur dégradation ultérieure. Les racines exposent des enzymes, provoquant la fragmentation de certains agrégats qui sont alors plus facilement dégradés par les micro-organismes selon J.L. Morel(2002).

4.5.2 Test de germination

Nous avons cultivés 50 graines de blé (à cause de petit volume de des boîte de pétrieutilisé) dans les différentes sols contaminé traiter par la phytoremédiation et dans le sol témoin (CNCU).

Tableau 22. Le taux de germination de blé dans les différents sols contaminés (contaminé cultivés par la fève, par l'haricot et le sol contaminé non cultivé)

la répétition	CCUF	CCUH	CNCU
1	16	8	1
2	11	2	0
3	18	10	5
la moyenne	15	6.67	2
le taux de germination(%)	30	13.33	4

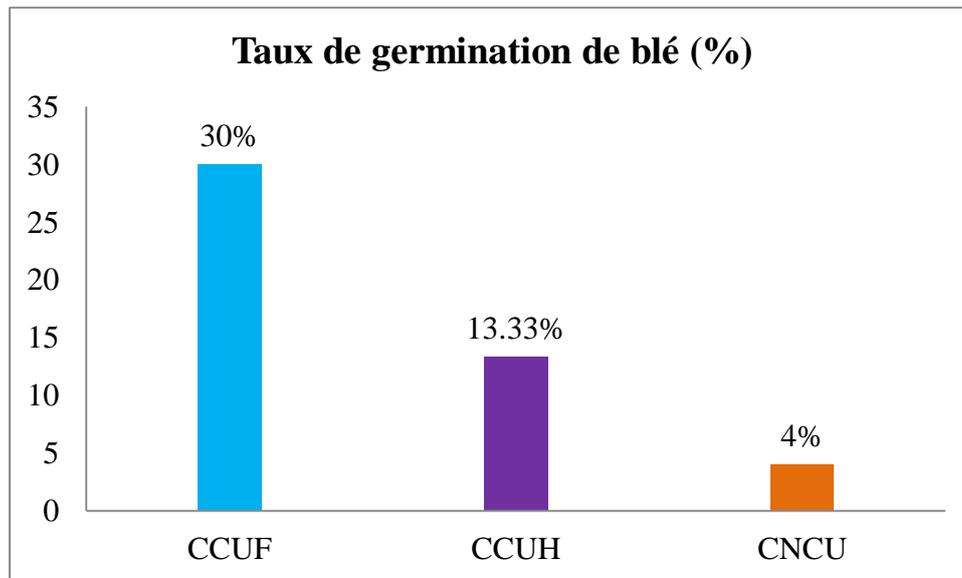


Figure 47. Taux de germination des graines du blé dans les différents sols contaminés cultivés et dans le sol contaminé non cultivé.



Figure 48. le taux de germination de blé dans les sols contaminés (contaminé cultivé par la fève, contaminé cultivé par le haricot et contaminé non cultivé) photo originale.

D'après les résultats présentés dans le tableau 23 et la figure 47, Le taux de germination des graines du blé dans le sol cultivé par la fève est de 30%, et dans le sol cultivé par les haricots il est de 13.33%. Concernant la germination des graines dans le sol non cultivé il est de 4%. La capacité de la germination représentée dans la figure 46 est importante dans les sols cultivés (surtout des sols cultivés par la fève) par rapport au sol non cultivé.

Les taux obtenus dans le sol contaminé après un traitement par phytoremédiation sont élevés par rapport à ceux des sols non traité (témoin) qui ont été de l'ordre de 4 %.

Nous avons constaté l'inhibition de la germination des graines du blé au niveau du sol contaminé non cultivé, et ça peut être dû à l'effet toxique des hydrocarbures exercés sur les graines du blé et la sensibilité de ce dernier à la pollution.

Nous avons remarqué également que le taux de germination de blé dans le sol contaminé traité par la *V. faba* est supérieur à celui de *Phaseolus vulgaris*. Cela signifie que *V. faba* ont un grand potentiel phytoremédiateur par rapport au *Phaseolus vulgaris*. La tolérance de ces plantes envers la contamination de sol par les carburants peut être due à leurs systèmes racinaires particuliers; la symbiose de certains champignons de sol avec le système racinaire et les nodosités sur les racines.

notre résultats est semblables à celles obtenus par les études de Salmi et Salmi (2017) ; Berkouche et Hadjadj(2015), dont ils sont enregistrés des d'oùleurs valeurs fortement importante, ils attient de 80%à 95% pour les sols cultivé par la fève cela est dû probablement à la longue duré de leurs traitement par phytoremédiation(entre 3 à 4 moins).

Selon Schnoor et *al.* (2003) in (Salmi et Salmi ,2017), plus les racines sont abondantes plus elles fournissent une surface de développement importante pour la microfaune et la microflore rhizosphérique. Les exsudats racinaires peuvent avoir un rôle dans l'amélioration directe de la dégradation des hydrocarbures via la sécrétion de diverses enzymes extracellulaires.

Conclusion général

Conclusion

Les hydrocarbures constituant les polluants les plus générés dans l'environnement, dont leur rejet dans l'écosystème sans aucun traitement préalable, entraîne des altérations à ce dernier, sachant que le coût de réhabilitation des sites contaminés est onéreux.

Des alternatives naturelles biotechnologiques existent telles que la phytoremédiation fait l'objectif de notre contribution afin de faire face à cette contrainte écologique et à moindre coût.

Afin de mener à bien nos travaux, nous avons réalisé une étude préliminaire concernant la caractérisation physico-chimique du sol pollué artificiellement par le pétrole brut et non pollué. Suite à cela, nous avons réalisé des tests de phytoremédiation avec les plantes sélectionnées à partir des études précédentes à savoir la fève et le haricot.

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

Le pétrole provoque dans le sol la réduction de la croissance et le développement des plantes en général. C'est la partie aérienne qui est la plus affectée. Ceci peut être considéré comme un signe de tolérance au stress qui permet aux plantes d'accumuler de l'énergie et des ressources pour combattre le stress hydrocarboné. Les hydrocarbures provoquent aussi, au niveau de feuillage une réduction de la longueur et nombre des feuilles. Au niveau de la partie racinaire la présence du pétrole diminue la biomasse des racines et leur longueur, Cela a été observé en comparant un sol témoin (CUNC) et un sol contaminé par le pétrole brut (CCU). La fève a supporté cette concentration élevée de pétrole contrairement au haricot dont le taux de levée et la croissance sont très faibles.

La plupart des paramètres physico-chimiques sont impactés et les résultats de nos analyses révèlent une structure en gradient. Des valeurs très élevées des différents paramètres sont constatées dans le sol cultivé contaminé et le témoin (CNCU) avec une diminution dans le sol cultivé non contaminé. Il s'agit de la matière organique, la teneur de carbone total et le pH. Néanmoins, certains paramètres font l'exception, il s'agit de la Conductivité électrique, le calcaire total et la teneur en magnésium qui ne présente pas une tendance particulière d'évolution. Concernant la teneur en potassium et en phosphore nous avons enregistré une forte diminution surtout pour le phosphore qui ne marque que 2.39 (mg/ml) dans le sol contaminé non cultivé sous l'effet des hydrocarbures, le phosphore constaté permet les éléments les plus importants et les plus nécessaires dans les processus

microbiennes, en effets une faible disponibilité de ce dernier limite la croissance bactériennes et donc la biodégradation des hydrocarbures.

L'humidité est aussi parmi les paramètres physico chimique de sol les plus influencés par la pollution des hydrocarbures, ce paramètre marque uniquement 2.39% dans les sols contaminés non cultivé. Dont nous avons remarqué une nette amélioration pour ce paramètre dans les sols pollués réhabilité par la phytoremédiation.

L'analyse quantitative des hydrocarbures avant et après le traitement par la phytoremédiation, nous a confirmé que la diminution de la teneur des hydrocarbures dans les sols plantés est plus importante que dans les sols non plantés.

L'espèce la plus performante en terme de dissipation d'hydrocarbures est la fève (40,4%) suivi par le haricot (29.25% . %) qui nous a poussé de constater que le haricot est une espèce qui ne supporté tellement pas la pollution. L'atténuation naturelle des hydrocarbures dans le sol pollué non planté (23.73%) serait due à l'activité bactérienne et/ou à l'évaporation des molécules légères des hydrocarbures présentes dans ce sol, on parle alors de dégradation abiotique.

Ces résultats est confirmé d'après le test de germination du blé, dont nous avons enregistré le taux le plus élevés dans les sols cultivé par la fève (30%) par rapport à celle non cultivé qui n'enregistre que (4%).

En fin, à partir de nos résultats qui sont très prometteurs. Nous constatons que les deux espèces *Vicia faba* et *Phaseolus vulgaris* ont utilisé presque la même stratégie de réponse au stress pétrolier avec des fréquences différentes ce dernier nous permet de déclarer que la capacité des plantes à tolérer la contamination de sol par les hydrocarbures est une caractéristique spécifique de l'espèce.

C'est pour cela que ces plantes peuvent être recommandées pour la phytoremédiation des sols pollués par les carburants.

Dans ce travail, nous avons donc mis en évidence la possibilité de traiter le sol pollué par les hydrocarbures avec des plantes légumineuse.

Nos perspectives de recherche vont tous d'abord, d'élargir la période de l'essai (culture) ainsi que coïncide l'essai avec la période de culture ; pour avoir plus de rendement des plantes étudiés, et pour notamment bien juger le pouvoir phytoremédiateur des plantes vis –vis la pollution pétrolière.

Ainsi que pour mieux comprendre les mécanismes impliqués dans la phytoremédiation, dans le but d'améliorer le rendement de la phytoremediation et pour compléter ce travail, nous proposons quelques perspectives de recherche :

- La réalisation d'études sur les relations sol-plante-micro-organismes, ainsi que les mécanismes enzymatiques impliqués dans la dégradation et la transformation des Hydrocarbures.
- Une étude sur la génétique de la fève qui permet la résistance de cette espèce à une certaine concentration des hydrocarbures dans le sol.
- Tester la capacité d'autre plantes pour la phytoremédiation.
- Une analyse qualitative et quantitative des hydrocarbures présents dans le sol et les végétaux qui permettraient de mieux comprendre les mécanismes impliqués dans la phytoremédiation.
- Isolement des bactéries et du champignon susceptible de dégrader les hydrocarbures et les identifiées.
- Il serait aussi important de connaître les mécanismes enzymatiques impliqués dans la dégradation et la transformation des hydrocarbures qui permettra d'optimiser les techniques de phytoremédiation.
- L'étude des enzymes impliquées dans la réponse au stress hydrocarboné.

Références bibliographiques

Bibliographie

- **Ait Tayeb Z. et Titouche H.**, 2011. Toxicité des hydrocarbures vis-à-vis de *Phaseolus*
- **Akmouci S., (2009)**. Contribution à l'étude des boues de forage : Isolement et évaluation de la capacité de quelques souches microbiennes à dégrader le gasoil. Thèse de Magister, université M'hamed Bougara BOUMERDES ,109 pages.
- **Ali Ahmed S.2011**.Essai de rehabilitation d'un sol contamined par les hydrocarbures à l'aide de tensioactifs obtenus par voie BIOLOGIQUE. Thèse de magistère, école nationale supérieure agronomique, 99 pages.
- **Andriamihadja,D.J(2013)**.Détermination de la capacité de nodulation de quelques lignées du haricot . Cas du moyen ouest de Madagascar. Mémoire de Master, Sciences Agronomiques,p58.
- **Baize D.2004**. Petit lexique de pédologie. INRA Éditions, Paris. 272 p.
- **Baize D.2016**.Petit Lexique de pédologie. édition : Christel Desmaris, Nancy, France p. 165.
- **Baize D.2016**.Petit Lexique de pédologie. édition : Christel Desmaris, Nancy, France p. 166.
- **Ballerini. (1999)**."Traitements biologiques des sols", Technique de l'Ingénieur, vol G2. Biochimie et microbiologie appliquée. Université M'hamad Bougara Boumerdès.
- **Banks M.K.; Lee E.; Schwab A .P.** 1999: Evaluation of dissipation mechanismsforbenz[a]pyrene in the rhizosphere of tall fescue. Journal of Environmental Quality.Vol. 28. pp: 294-298.
- **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.
- **Bentama, N., &Boursas, S. (2016)**. Etude de la variation chromosomique chez l'espèce *Vicia faba* L. mémoire de master, Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie, Filière : Sciences Biologiques Spécialité Biologie, 72 p.

- **Benyahia, N ; Mahdaoui, K.(2012).** La pollution des sols par les hydrocarbures. Mémoire d'ingénieur d'état en écologie et environnement, Université Abderrahmane Mira De Bejaia Faculté Des Sciences De La Nature Et De La Vie Département Des Sciences Biologiques De L'environnement, 60p.
- **Bergue J ; 1986.**La pollution des sols par les hydrocarbures. Service Physique-Génie urbain, laboratoire régional de Rouen PP 57-64
- **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.
- **Bert V., DeramA.,** 1999. Guide des phytotechnologies : utilisation des plantes dans la dépollution et la réhabilitation des sites contaminés par les métaux lourds, France, Environnement et Développement alternatif. p23
- **Bonneau M. (1995).** Fertilisation des forêts dans les pays tempérés, Ecole nationale du génie rurale, des eaux et des forêts. Ed ENGREF Nancy, p368.
- **Bouchez, M.,**1995. Les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'environnement. Revue de l'Institut Français du Pétrole (IFP), Vol. 51 (03): 407-419.
- **Bouderhem A.**2011. Utilisation Des Souches Bactériennes Telluriques Autochtones Dans La Biodetection et La Bioremediation Des Sols Polluent Par Les Hydrocarbures. Mémoire de Magister, Université Kasd iMerbah-Ouargla, 64p.
- **(B.N.D.D.R, 2006) :** BUREAU NATIONAL D'ETUDES POUR LE DEVELOPPEMENT PURAL, Analyse Physico-chimiques (Guide Et Quelques Principes Analytiques) Y.YAHIA TENE .P43
- **Chaineau C.H. ; Morel J.L. ; Oudot J.,** 1996 : Land treatment of oil based drillcuttings in an agricultural soil. Journal of EnvironmentalQuality. Vol.25. N°4. pp : 858-867.

- **Chaineau C.H.; Morel J.L.; Oudot J., 2000:** Biodegradation of fuel oilhydrocarbons in the rhizosphere of maize. Journal of Environmental Quality. Vol.29.pp: 569-578.
- **Chaineau C.H., Morel J.L. et Oudot J.,2000.** Bioremediation and biodegradation.Biodegradation of fuel Oil Hydrocarbons in the rhizosphere of Maize.J. Environ.Qual. V295, 569-578.
- **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., Morel, J., Oudot, J.,1996.** Land treatment of oil-based drill cutting in an agricultural soil. Journal of Environmental Quality, Vol. 25: 858-867.
- **Colin François.** 2000. Pollution localisées des sols et sous sols par les hydrocarbures et les solvants chlorés. Rapport N° 44, Edition Tec et Doc. Paris. PP 95 -284, V417.
- **Cronquist A, 1981.**An Integrated system of classification of Flowering plants.Columbia University press, New York.
- **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.
- **Davis et Madsen, 1996.** "Factors affecting the biodegradation of toluene in soil" Chemosphere, vol. 33, N°1, pp107-130.
- **Dechamp C., Meerts P., 2003.** La phytoremédiation : Panacée pour l'environnement ou menace pour la biodiversité. Les Naturalistes belges, n°82. p : 135- 148.
- **Duchaufour P., 1965.** Précis de Pédologie. 2eme éd. Masson, Paris, 481p.
- **Duchaufour P., 2001.** Introduction à la science du sol : sol, végétation et environnement. 6ème édition MASSON, Paris Milan Barcelone. 498 p.
- **Duchaufour Ph.,1991 :** Abrégé de pédologie : sol, végétation et environnement. EditionMasson, Paris. 334p.

- **Eckford R., Cook F. D., Saul D., Aislabie J., et Foght J., (2002).** Free-Living Heterotrophic Nitrogen-Fixing Bacteria Isolated from Fuel-Contaminated Antarctic Soils. *Applied and Environmental Microbiology*, 68(10): 5181–5185.
- **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.
- **Foucard J. (1994).** Filière pépinière de la production et de la plantation Technique et documentations, édition Lavoisier Paris 428 p.
- **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.
- **Goswani, P., Singh, D.H., 1991.** Different modes of hydrocarbons up-take by two *Pseudomonas* species. *Biotechnology and bioengineering*, Vol. 37: 1-11.
- **J.L. Morel. 2002.** La phytoremédiation des sols contaminés. *L'Actualité Chimique*, Société chimique de Franc, pp.63-66.
- **J.-M. Costes Et V. Druelle. 1997.** Les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques Dans L'environnement : La Réhabilitation Des Anciens Sites Industriels. *Revue De L'institut Français Du Pétrole* .Vol. 52, N° 4, Juillet-Août 1997.
- **Joner E.J.; Leyval C., 2003:** Phytoremediation of organic pollutants using mycorrhizal plants: new aspect rhizosphere interactions. *Agronomie*. Vol.23. pp : 495-502.
- **J.-M. Costes et V. Druelle, 1997.** Les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques Dans L'environnement : La Réhabilitation Des Anciens Sites Industriels ; *Revue De L'institut Français Du Pétrole* Vol. 52, N° 4, Juillet-Août 1997.
- **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.
- **Koull N., Chehma A. 2016.** Soil characteristics and plant distribution in saline wetlands of Oued Righ, northeastern Algeria 8 (6):948-959.
- **Larabi T et 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 de master, université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 32p.
- **Leahy, J. G. et Colwell R. R., (1990).** Microbial Degradation of hydrocarbons in the Environment. Microbiol. Rev., 54: 305-315.
- **Lecomte P., (1995).** Les sites pollués, traitement des sols et des eaux souterraines édition Lavoisier, TEC & DOC, p. 198.
- **Lecomte, R 1998.** Les sites pollués. Traitement des sols et des eaux souterraines. Lavoisier Tec et Doc, Ed DUNOD. Paris. 204p
- **Mathieu C. et Pielain F., 2003.** Analyse chimique des sols : méthodes choisies Edition TEC & DOC. 387 p.
- **Mathieu, C., Pielain, F., 2003.** Analyse chimique des sols méthodes choisies. Editions Tec et Doc/Lavoisier, Paris: 408.
- **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.
- **Mezani, S.(2016).** Suivi des populations de *Bruchus rufimanus* (coleoptera: chrysomelidae) dans les lieux de diapause et dans des parcelles de variétés de fève différentes dans la région de Tizi –Ouzou. Thèse de doctorat, écologie et biodiversité animale, U.M.M.T.O, 190p.
- **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.

- **Najib S., Elbatal Y., Aadjour M. 2014.** Comparison between TOC Measurement in Tarfaya Oil Shale Using Rock-Eval and Walkley-Black Method. *Sciences et techniques Géologie* 6(140110): 2111-4706.
- **Norini M.P., 2007** : Ecodynamique des hydrocarbures aromatiques polycycliques et des communautés microbiennes dans les sols à pollution mixte (HAP, métaux) avant et après traitement par biopile et par désorption thermique. Thèse de Doctorat, université Henri Poincaré, Nancy I. Pp :75-90.
- **Origo N., Wicherek S., Hotyat M. 2012** . [VertigO] La revue électronique en sciences de l'environnement Réhabilitation des sites pollués par phytoremédiation. *Natures et Métropoles* 12: 1492-8442.
- **Oudot, J., 1975.** Contribution à l'étude de la dégradation bactérienne des hydrocarbures. Produits et facteurs susceptibles de modifier la cinétique du phénomène, Thèse de doctorat, Faculté de sciences de la vie et de l'environnement, Université de Dijon.
- **Pilon-Smits, E., 2005.** Phytoremediation. *Annual Review of Plant Biology*, Vol. 56: 15-39.
- **Ramade F., 2007** : Introduction à l'écotoxicologie. Fondements et applications. Ed et TEC et DOC. Lavoisier. 618p.
- **Ranger J., 2001** . les sols forestiers (forest soils). in Bulletin de l'association de géographes français. les forêts entre nature et société , sous la direction de Paul A. Pp 119-134. 78-2.
- **Razanadrakoto, N. Y. (2005).** Optimisation et diffusion de la culture de haricot suivant les techniques agro écologiques dans la région de Mangaroo. Mémoire d'ingénieur, Université d'Antananarivo école supérieure des sciences agronomiques, département agriculture, 123 p.
- **Rodier J., Legube B., Merlet N., Coll. 1959.** L'analyse de l'eau. 9e édition, Dunod, Paris, p. 345, 339.
- **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.

- **Scriban, R.**, 1999. Biotechnologie. 5ème édition. Technique et Documentation. Lavoisier, Vol. 5: 149-157.
- **Shirdam, R., Zand, A., Bidhendi, G., &Mahrdadi, N.(2008).** Phytoremediation of hydrocarbon-contaminated soils with emphasis in the effect of petroleum hydrocarbons in the growth of plant species, article. Vol:89 (Number 1), 89 p.
- **Site web 1** :<https://fr.123rf.com> consulté le 1/9/2020.
- **Site web 2** :<https://encrypted-tbn0.gstatic.com> consulté le 1/9/2020.
- **Site web 3** :<https://encrypted-tbn0.gstatic.com> consulté le 1/9/2020.
- **Solano-Serena1 F., Marchal R., Vandecasteele J.P., 2001.** Biodégradabilité de l'essence dans l'environnement: de l'évaluation globale au cas des hydrocarbures récalcitrants. Oil&Gas Science and Technology. Vol. 56, N° 5. p. 479- 498
- **Soltani, M.** 2004. Distribution lipidique et voies métaboliques chez quatre bactéries Gram négatives hydrocarbono clastes. Variation en fonction de la source de carbone. Thèse de doctorat, Université de Paris 6: 281-284.
- **Susarla S., Medina V., McCutcheon S., 2002.** Phytoremediation: An ecological solution to organic chemical contamination. Pp 647-658.
- **Vandecasteele, J.P.**, 2005. Microbiologie pétrolière, Edition Technip. Vol. 2: 34.
- **Vidali M.**, 2001. Bioremédiation an overview. Pureappel. chem. 222 p.
- **Vulgaris L. et Cicer Arientium L.** et du sol : essai de phytoremédiation. Mémoire d'Ingénieur'Etat en Biologie U.M.M.T.O. 85 p.
- **William W.Mohn., Gordon R.Stewart.,(2000).** Limiting Factors for Hydrocarbon Biodegradation at Low Temperature in Arctic Soils .Soil Biology and Biochemistry ,32(8-9) :1161-1172.

- **Wilste C.C., Rooney W.L., Chen Z., Schwab A.P., Banks M.K., 1998:** Greenhouse evaluation of agronomic and crude oil-phytoremediation potential among Alfalfa genotypes. *Journal of Environmental Quality*. Vol.27. N°1. pp : 169-173.
- **ZebicheB et Semaani L.2015.**Effet de la concentration du pétrole brut sur la croissance du pois (*Pisumsativum*) et de la luzerne (*Medicagosativa L.*)Essai de phytoremédiation. Mémoire de master, université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 35p.
- **Zhu, J.K., 2002.** Salt and drought stress signal transduction in plants. *Annual Review of Plant Biology*, 53(1): 247-273.

Annexes

Annexe.1. Photos des catastrophes causées par les accidents pétrolières.



Décès des chameaux à cause de leur consommation des eaux souterraines polluées par le pétrole(Ouargla).(Belabbas ,2017)



La pollution de ressources naturelles par le pétrole à Ouargla (février 2016).



Annexe. 2. Les valeurs de la suivre de cultures.

2.1) Les résultats de test de germination des semis

	La fève	Le haricot
boite 1	8	6
boite 2	7	9
boite 3	8	10
moyenne	7.67	8.33

2.2) La longueur des racines

	fève		Haricot	
	SNC	SC	SNC	SC
pot 1	17	9	14	7
	15	8	22	5.8
	10	6	20	
	15.9	10	10	
		18.5		
moyenne	14.475	10.3	16.5	6.4
Pot 2	13.5	25	24	6.5
	21	12	21	
	16	9	16	
	19		23.5	
	17.5		17.5	
moyenne	17.4	15.33	20.4	6.5
Pot 3	18.5	19	13	9
	22	21	25	6
	17	10	24.3	8
	19	17	22	7.5
	16			5
moyenne	18.5	16.75	21.075	7.1

2.3) Taux de levée des deux espèces dans les deux sols (contaminé et non contaminé).

		fève	haricot
SNC	pot 1	5	5
	pot 2	5	4
	pot 3	5	4
moyenne	x	5	4.333
SC	pot1	5	1
	pot 2	4	2
	pot3	4	5
moyenne	x	4.333	2.667

2.4) le taux de germination de (*Phaseolus vulgaris L.*) et de (*Vicica fabal. L*)

Espèce	La fève	L' haricot
Taux de germination (%)	95.83%	83.33%

2.5) Nombre des feuilles dans chaque pot pour les deux sols :

		la fève		le haricot	
		SNC	SC	SNC	SC
1ère .S	pot 1	0	0	0	0
	pot2	0	0	0	0
	pot 3	0	0	0	0
2ème .S	pot 1	6	2.75	2	2.33
	pot 2	2	2	2	2
	pot 3	0	5	2	2
3ème.S	pot 1	3.25	4.5	2.75	2.2
	pot 2	2	4.33	2.25	2
	pot 3	2	4.6	2.2	2
4ème.S	pot 1	4.8	6.75	3.75	2.8
	pot 2	6	6	3	3
	pot 3	6.4	6.2	3.2	2
5ème.S	pot 1	8.8	9.5	7	3.8
	pot 2	9.4	8.67	5.5	5
	pot 3	10.6	8.6	5.8	2
6ème.S	pot 1	12.8	12	8.75	5.2
	pot2	13.8	11.67	8.25	0
	pot 3	14.4	11.2	8.2	0
7ème.S	pot 1	16.4	14	11.25	6.6
	pot 2	17.4	13.67	11.75	0
	pot 3	17.8	13.4	11	0
8ème.S	pot 1	20.2	16.5	14.75	7
	pot 2	21.4	16.33	13.5	0
	pot3	21.8	15.8	13.8	0

2.6) hauteur de la fève (chaque pot) dans un sol non contaminé

	1ère S	2ème S	3ème S	4ème S	5ème S	6ème S	7ème S	8ème S
pot 1	0	6	14	26	33	36	38.2	39.7
	0	9.2	13	28	32.5	35	37	38.5
	0	4	10	17	25	28.1	30	35
	0	9.6	15	19	28	30.1	33	35.2
moyenne	0	7.2	13	22.5	29.625	32.3	34.55	37.1
pot2	0	10	16.8	27	35	37	39	41
	0	8	13.5	18	26.5	29	32	35.2
	0	10.3	16	25	31	33	36	38
	0	11	17	21	27	30	33.5	36
	0	7.2	15	24	27.8	29.5	32	34
moyenne	0	9.3	15.66	23	29.46	31.7	34.5	36.84
pot 3	0	6	13.5	17.5	22	25	27.7	30
	0	5.7	14.9	28.2	35	37.2	40	42
	4.2	13	23	32	37	39	42	43.3
	0	7.5	16	26	30	33	35	37
	0	8	14	26.5	33	36	38	40
moyenne	0.84	8.04	16.28	26.04	31.4	34.04	36.54	38.46

2.7) hauteur de la fève (chaque pot) dans un sol contaminé

	1ère S	2ème S	3ème S	4ème S	5ème S	6ème S	7ème S	8ème S
pot 1	0	9.6	20	27	33	36.5	37	38.7
	1.6	10	17.5	23	27	30	31.5	33
	3	12.2	16	22	25.5	28.5	30	33
	0	8	14	19	23	26	28.1	30
moyenne	1.15	9.95	16.875	22.75	27.125	30.25	31.65	33.675
pot2	3.5	13.5	18.3	26	30	33.5	35	37
	2	10.1	16.5	25	28.3	30	31.8	34
	0	6.6	10	18	22	25.2	28	29.5
moyenne	1.83	10.07	14.93	23	26.77	29.57	31.6	33.5
pot 3	4.5	13	17.9	26	29	31	32.3	34.8
	2	7.2	13.5	23	26.6	28.2	30	32
	0	4	9.5	16	19.8	22	24	26.5
	0	6.6	10	19	22	24	26	27
	1.7	9.1	14	21.5	24	27.1	30	32.1
moyenne	1.64	7.98	12.98	21.1	24.28	26.46	28.46	30.48

2.8) hauteur de l'haricot (chaque pot) dans un sol non contaminé

	1ère S	2ème S	3ème S	4ème S	5ème S	6ème S	7ème S	8ème S
pot 1	6.1	11	14	16	22	27	33	36
	7	12	16	23	27	31	35	38
	5.4	10	15	20	25	28.5	31	34.2
	5.2	13	17.2	22	27.5	30	33	36.2
moyenne	5.93	11.5	15.55	20.25	25.38	29.13	33	36.1
pot2	4	9	12	17	22	25	29	32
	5.8	10.2	15	23.2	27.1	32	36	40
	3.4	8.7	16.2	21	25	28	31	35
	6	11	17	24	28	33	36.1	39
moyenne	4.8	9.73	15.05	21.3	25.53	29.5	33.03	36.5
pot 3	3.6	8.2	14.2	18	23	26	30	35
	5	10	16	22.5	26.1	29	34	39
	3.5	9	13	17	21	25	29	33
	1.4	4.8	10	13	17	20	26	30
	3	7	12	19.1	22	24.7	28.3	33.2
moyenne	3.3	7.8	13.04	17.92	21.82	24.94	29.46	34.04

2.9) hauteur de l'haricot (chaque pot) dans un sol contaminé

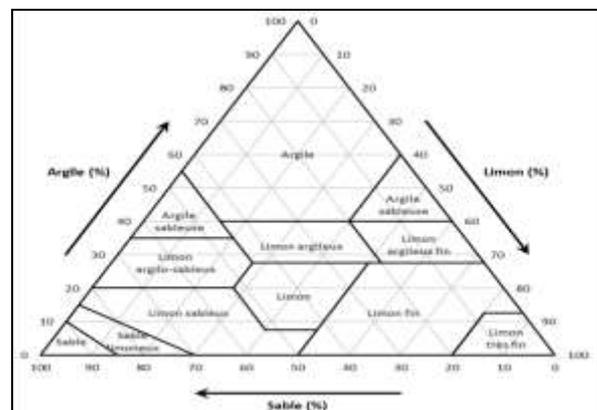
	1ère.S	2ème.S	3ème.S	4ème.S	5ème.S	6ème.S	7ème.S	8ème.S
pot 3	4	7	10	13	15	15.6	17	18
	3.3	8.3	12.5	15	17	18	18.9	20.1
	2.6	6.1	9	12	12.9	14.2	15	16.5
	1.8	5	9.3	13.8	14.5	15	15.9	17
	3	6.5	10	14	15.3	16.2	17	18.1
moyenne	2.94	6.58	10.16	13.56	14.94	15.8	16.76	17.94
pot 1	3.5	6.2	10	13	15			
	1.8	4.5	9					
moyenne	2.65	5.35	9.5	13	15			
pot 2	3.6	7	10	14.5	15.3			
moyenne	3.6	7	10	14.5	15.3			

Annexe 3 : les symptômes de jaunissement et le dessèchement qui est apparu sur les feuilles des plantes cultivés dans les sols contaminés.



Annexe .4. Classe texturales du sol et le triangle texturales.

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



Annexe 5 : les listes hollandaises (anciennes et nouvelles) québécoises et anglaise pour les HAP.les valeurs sont exprimées en ppm ou mg/Kg de sol sec. (J.-M. Costes Et V. Druelle, 1997)

	Pays-Bas (1990)			Pays-Bas (1994)	Québec (1988)		
	A	B	C	C	A	B	C
Naphtalène	0,01	5	50		< 0,1	5	50
Phénanthrène	0,1	10	100		< 0,1	5	50
Anthracène	0,1	10	100		< 0,1	10	100
Fluoranthène	0,1	10	100		< 0,1	10	100
Chrysène	0,01	5	50		< 0,1	1	10
Benzo(a)anthracène	0,01	5	50		< 0,1	1	10
Benzo(a)pyrène	0,1	1	10		< 0,1	1	10
Benzo(k)fluoranthène	10	5	50		< 0,1	1	10
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	10	5	50		< 0,1	1	10
Benzo(g,h,i)pérylène	10	10	100		< 0,1	1	10
Dibenzo(a,h)anthracène					< 0,1	1	10
Benzo(b)fluoranthène					< 0,1	1	10
Pyrène					< 0,1	10	100
Acénaphène					< 0,1	10	100
Acénaphthylène					< 0,1	10	100
Fluorène					< 0,1	10	100
Somme des HAP	1	20	200	40*	1	20	200

Résumés

المخلص :

من المشاكل البيئية الرئيسية التلوث بالمحروقات التي تشكل تهديداً لحياة الإنسان وخاصة للتربة الجزائرية بسبب طول شبكة الأنابيب المستخدمة في نقل النفط من الجنوب إلى الشمال. الهدف من هذا العمل هو تطهير التربة الملوثة صناعياً بالنفط الخام. باستخدام عملية المعالجة النباتية، تم اختبار نوعين من النباتات البقولية (الفول (*Vicia faba*) والفاصولياء (*Phaseolus vulgaris*L)). من خلال تحليل الخواص الفيزيائية والكيميائية لتربتين (ملوثة بنسبة 5% من البترول وغير ملوثة) مزروعة بالبقوليات (الفول والفاصولياء). من ناحية أخرى، فإن تقييم درجة إعادة التأهيل في عينات التربة الملوثة، أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن الهيدروكربونات لها تأثير سام على النباتات وتسبب في انخفاض كبير في محصولها، واضطراب ملحوظ في المقاييس الفيزيائية وكيميائية، بناءً على نتائج تقييم المعالجة النباتية. تعد فعالية الطريقة البيولوجية واعدة، كما أن *Vicia faba* فعالة جداً في إزالة تلوث التربة، لذا فهي تتمتع بإمكانية جيدة في المعالجة النباتية للتربة الملوثة بالهيدروكربونات.

الكلمات المفتاحية: معالجة نباتية، *Vicia faba*، هيدروكربونات، بترول، *Phaseolus vulgaris*L، إعادة تأهيل.

Résumé :

L'un des principaux problèmes environnementaux est la contamination par les hydrocarbures qui constitue une menace pour la vie humaine et notamment pour les sols algériens à cause de la longueur du réseau de canalisation servant à transporter le pétrole du sud vers le nord. Le présent travail a pour objectif de décontaminer un sol artificiellement contaminé par le pétrole brut. Utilisant le processus de la phytoremédiation, deux espèces de plantes légumineuse (la fève (*Vicia faba*) et le haricot (*Phaseolus vulgaris*L)) ont été testées. A travers l'analyse des propriétés Physicochimiques de deux sols (contaminé par le pétrole à 5 % et non contaminé) cultivés par des légumineuses (le haricot et la fève). D'autre part une évaluation de degré de Réhabilitation dans les échantillons de sol contaminé, Les résultats obtenus ont montré que les hydrocarbures ont un effet toxique sur les plantes et provoquant une réduction significatif dans leur rendement, et une perturbation remarquables sur les paramètres physico-chimique, d'après les résultats de l'évaluation de phytoremédiation. L'efficacité de la méthode biologique est prometteurs et *Vicia faba* est très efficaces dans la décontamination du sol, elles a donc à un bon potentiel phytoremédiateur du sol pollué par les hydrocarbures.

Les mots clés : phytoremédiation, *Vicia faba*, les hydrocarbures, pétrole, *Phaseolus vulgaris*L, Réhabilitation.

Abstract:

One of the main environmental problems is the contamination by hydrocarbons which constitutes a threat to human life and in particular to Algerian soils because of the length of the pipeline network used to transport oil from the south to the north. The present work aims to decontaminate a soil artificially contaminated with crude oil. Using the process of phytoremediation, two species of leguminous plants (broad bean (*Vicia faba*) and bean (*Phaseolus vulgaris*L)) were tested. Through the analysis of the Physicochemical properties of two soils (contaminated with 5% petroleum and not contaminated) cultivated by legumes (beans and beans). On the other hand, an evaluation of the degree of Rehabilitation in the samples of contaminated soil, the results obtained have shown that the hydrocarbons have a toxic effect on the plants and causing a significant reduction in their yield, and a remarkable disturbance on the physical parameters. Chemical, based on the results of the phytoremediation assessment. The effectiveness of the biological method is promising and *Vicia faba* is very effective in decontaminating the soil, so they have good phytoremediation potential of soil polluted by hydrocarbons.

Key words: phytoremediation, *Vicia faba*, hydrocarbons, petroleum, *Phaseolus vulgaris*L, Rehabilitation.