



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

**Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou
Faculté des Sciences Biologiques et Agronomiques
Département d'Ecologie et environnement**

MEMOIRE

De fin d'études

en vue de l'obtention du diplôme de Master

Filière : Ecologie et environnement

Spécialité : Protection des écosystèmes

Thème

**Etude du transfert des hydrocarbures dans les
plantes cultivées sur un sol contaminé aux
carburants**

Réalisé par :

M^{elle} Larbi Khaoula

M^{elle} Louna Louiza

Devant le jury :

Présidente : M^{me} SADOUDI ALI AHMED D.

Professeur à l'U.M.M.T.O.

Promotrice : M^{me} ALI AHMED S.

MCB à l'U.M.M.T.O.

Examineur : M^r SADOU S.

MAB à l'U.M.M.T.O.

Année universitaire : 2023 /2024

Remerciements

Tout d'abord, nous remercions le Bon Dieu le Tout Puissant de nous avoir données la santé, le courage et la patience pour être ce que nous sommes aujourd'hui et pour avoir mené à terme ce modeste travail ;

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à notre promotrice Mme ALI AHMED S., maitre de conférences au département d'Ecologie et environnement à l'UMMTO pour ses précieuses orientations, son aide, ses conseils et son souci de réaliser ce travail de recherche ;

Nous remercions aussi très sincèrement les membres du jury : la présidente M^{me} SADOUDI-ALI AHMED D. et l'examineur Mr SADOU S. d'avoir bien voulu évaluer notre travail ;

Nos remerciements vont aussi à Mme SADOUDI-ALI AHMED D., directrice du laboratoire PSEMRVC, pour nous avoir autorisées à y réaliser la partie pratique de notre mémoire, ainsi qu'à Mme ABROUS H., ingénieur du laboratoire pour son aide et sa disponibilité.

Nous tenons à remercier nos amis pour leurs encouragements et leur soutien moral tout au long de ce travail ;

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

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail à mes très chers parents ; Ma Mère et Mon Père source de Tendresse et de force, de courage. Je vous remercie d'être à mes côtés de me soutenir, m'aimer, me protéger et pour tout ce que vous avez fait pour moi. Puisse Dieu, le Tout Puissant, vous garder pour moi

*A mes chers frères
Je vous aime tellement.*

*Je dédie aussi ce travail à mon binôme Louna Louiza
et à ma chère copine Mezari Amel*

A tous ceux que j'aime et qui me sont chers

Khaoula....

DEDICACES

Je dédié ce modeste travail à mes très chers parents ; Ma Mère et Mon Père source de Tendresse et de force, de courage. Je vous remercie d'être à mes côtés de me soutenir, m'aimer, me protéger et pour tout ce que vous avez fait pour moi. Puisse Dieu, le Tout Puissant, vous garder pour moi

*A mes chers frères
Je vous aime tellement.*

A mes chères copines Diana et Linda

A ma binôme Larbi Khaoula

A tous ceux que j'aime et qui me sont chers

Louiza.....

Résumé

L'objectif de notre travail est de mettre en évidence l'éventuel transfert des carburants dans les plants de trois légumineuses à savoir, le pois (*Pisum sativum* L.), la fève (*Vicia faba* L.) et le pois chiche (*Cicer arietinum* L.), ainsi que leurs effets sur l'anatomie des organes végétatifs de ceux-ci.

En effet, sur la base des résultats obtenus, nous pouvons conclure que l'effet des hydrocarbures peut être observés au niveau du végétal qui se traduit par une légère diminution de la biomasse végétale, de volume racinaire, un retard de croissance, ainsi qu'une modification de la physiologie des plantes. Cela a été possible grâce à une comparaison entre ces trois espèces de légumineuses cultivées dans un sol contaminé aux hydrocarbures. Les plantes ont absorbé des quantités similaires d'hydrocarbures avec des différences dans la composition des HA absorbés.

Mots clés : carburants, légumineuses, croissance, sol contaminé, HA.

Abstract

The objective of our work is to evaluate the potential uptake of fuels by the plants of three Fabaceae which are pea (*Pisum sativum* L.), bean (*Vicia faba* L.) and the chickpea (*Cicer arietinum* L.).

Indeed, on the basis of result obtained, we can conclude that the effect of hydrocarbons can be observed on the level of the plant which results in : reduction in the biomass plant, root volume, growth reduction, as well as a modification of the physiology of the plants. That was possible thanks to a comparison between the three species of legume contaminated by hydrocarbons. Plants total hydrocarbons uptake was similar for the three species with differences in the absorbed AH absorbed.

Key words : fuels, legumes, growth, contaminated soil, AH.

Liste des abréviations

- **RWC** : Relative Water Content.
- **HA** : hydrocarbures aromatiques
- **BA** : Biomasse Aérienne.
- **BR** : Biomasse Racinaire.
- **BV** : Biomasse Végétale.
- **TF** : Tige Fève.
- **RF** : Racine Fève.
- **TP** : Tige Pois.
- **RP** : Racine Pois.
- **TPC** : Tige Pois Chiche.
- **RPC** : Racine Pois Chiche.

Liste des figures

Figure 1 : Structure moléculaire de base des principaux hydrocarbures pétroliers.....	4
Figure 2 : Sources de contamination du sol dans une station-service.....	7
Figure 3 : Composition des essences	8
Figure 4 : Composition du gazole	8
Figure 5 : Devenir d'une pollution pétrolière à la surface du sol.....	10
Figure 6 : Dégradation des matières organique.....	10
Figure 7 : Tissus de soutien primaires	17
Figure 8 : Formation des tissus secondaires conducteurs à partir de cambium.....	18
Figure 9 : Situation géographique de la commune de Fréha dans la Wilaya de Tizi Ouzou...20	
Figure 10 : Localisation de la station-service de Fréha	20
Figure 11 : Plant du pois (<i>Pisum sativum</i> L.)	22
Figure 12 : Plants de la fève (<i>Vicia faba</i> L.).....	22
Figure 13 : Plant du pois chiche (<i>Cicer arietinum</i> L.).....	23
Figure 14 : Schéma du dispositif expérimental de la culture en pot.....	24
Figure 15 : Tuteurage de la fève cultivée sur le sol pollué.....	25
Figure 16 : Tuteurage du pois et du pois chiche cultivés sur le sol pollué.....	25
Figure 17 : Etapes de la double coloration des coupes végétales.....	27
Figure 18 : Protocole d'extraction des hydrocarbures du sol	28
Figure 19 : Schéma de principe d'un système de spectroscopie UV-Vis à cuvette	29
Figure 20 : Etapes de la caractérisation des HAP par spectroscopie UV.....	30
Figure 21 : Hauteur des tiges des trois espèces végétales.....	32
Figure 22 : Longueurs des racines principales des trois espèces végétales.....	33
Figure 23 : Teneur relative en eau des trois espèces végétales.....	34
Figure 24 : Biomasse aérienne, racinaire et totale des trois espèces végétales	35
Figure 25 : Photographies des tissus de la tige (TF) et de la racine (RF) de la fève, de la tige (TP) et de la racine (RP) du pois et de la tige (TPC) et de la racine (RPC) du pois chiche.....	35

Liste des tableaux

Tableau 1 : Classification générale des hydrocarbures	4
Tableau 2 : Caractéristiques du sol de la station-service de Fréha.....	21
Tableau 3 : Quantité d'hydrocarbures extraite des plants des trois espèces	36
Tableau 4 : Quantité d'hydrocarbures extraite des de sol cultivés par les trois espèces.....	36
Tableau 5 : Composition des HAP dans le sol cultivé par les trois espèces.....	37
Tableau 6 : Composition des HAP dans les plants des trois espèces.....	38

Introduction	1
Chapitre I : synthèse bibliographique	
1. Pollution de sol par les hydrocarbures.....	3
1.1. Classification des hydrocarbures.....	3
1.2. Caractéristiques physico-chimiques des hydrocarbures.....	5
1.3. Sources des hydrocarbures dans le sol.....	6
1.4. Devenir des hydrocarbures dans le sol.....	9
1.5. Effets des hydrocarbures sur le sol.....	10
2. Généralités sur les légumineuses.....	12
2.1. Caractéristiques des légumineuses	12
2.2. Systématiques botanique	12
2.3. Réactions botanique au stress polluant.....	13
2.4. Tissus végétaux	13
Chapitre II : matériels et méthodes	
1. Localisation de site d'échantillonnage	19
2. Matériel.....	19
2.1. Sol	19
2.2. Matériel végétal.....	19
3. Méthodes	21
3.1. Dispositif expérimental	21
3.2. Évaluation de la croissance des plantes	23
3.3. Teneur relative en eau	23
3.4. Etude anatomique des organes végétatifs	23
3.5. Évaluation de la quantité des hydrocarbures.....	23
3.6. Caractérisation des HA par spectroscopie UV.....	25
3.7. Analyse statistique	27
Chapitre III : Résultats et Discussion	
1. Résultats	31
1.1. Evaluation de la croissance des plantes	31
1.2. Teneur relative en eau	33
1.3. Etude anatomique des organes végétatifs	33
1.4. Analyse quantitative des hydrocarbures	35
1.5. Caractérisation des HA par spectroscopie UV.....	36
2. Discussion	38
Conclusion	41
Références bibliographiques	

Introduction

Introduction

Introduction

Depuis toujours, l'Homme agit plus ou moins directement sur l'environnement, cette action a pris plus d'ampleur au cours du dernier siècle avec l'apogée de l'industrie et les progrès dans les sciences et techniques, qu'elles soient industrielles, agricoles ou domestiques. Ainsi, pendant de nombreuses années, les activités humaines ont contribué à dégrader les écosystèmes en rejetant des quantités croissantes de substances polluantes toxiques (Brunet, 2008).

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

Les stations-services, lieux de stockage et de manipulation de produits dangereux, peuvent être à l'origine d'accidents ou de pollutions du sol et de l'environnement. Leur large répartition sur le territoire national est due, en partie, aux centres de stockage et de distribution des carburants. La station-service est le lieu où peut avoir lieu l'infiltration de ces polluants dans le sol, qui auront des impacts différents sur les nappes phréatiques et sur la flore (Delage et Schrefler, 2005).

Cette pollution cause une modification défavorable du milieu naturel qui apparaît en totalité ou en partie comme sous-produit de l'action humaine, au travers d'effets directs ou indirects altérant les critères de répartition des flux d'énergie, des niveaux de radiation de la constitution physico-chimique du milieu naturel et de l'abondance des espèces vivantes (Ramade, 1992).

Plusieurs travaux ont mis en évidence l'effet des hydrocarbures sur la germination et la croissance des légumineuses (Ouhedda et Zerrouki, 2013 ; Oukaci et Lekadir, 2014 ; Slimani, 2015), nous n'avons noté aucune étude sur le transfert des hydrocarbures dans les plantes ou l'étude histologique des organes végétatifs.

C'est dans ce contexte que s'insère ce travail dont l'objectif principal est de mettre en évidence l'éventuel transfert des hydrocarbures dans les plants de trois espèces de légumineuses potagères (fève, pois et pois chiche). Cette étude vise aussi à étudier l'anatomie des tiges et des racines et d'essayer d'établir une relation de ces variables avec la croissance des plantes.

Introduction

Le présent mémoire comprend trois chapitres. Le premier consiste en un rappel bibliographique portant sur la pollution des sols par les hydrocarbures, la classification et le comportement de ceux-ci dans le sol et leurs impacts sur le sol et les organismes vivants. Le second est consacré à la présentation de l'ensemble du matériel et des méthodes utilisées dans la partie pratique. Le troisième chapitre comporte tous les résultats obtenus et leur discussion. Le mémoire se termine par une conclusion.

Chapitre I

Synthèse Bibliographique

1. Pollution du sol par les hydrocarbures :

Interface entre l'homme et la nature, zone d'échange entre la biosphère et la lithosphère, le sol est un milieu vivant complexe et sensible aux contraintes. Sa capacité de réagir aux facteurs du milieu lui confère une fonction épuratrice. Cette dernière est largement exploitée par l'homme moderne soucieux d'éliminer les déchets issus de son activité, mais cette fonction a des limites (Camuzard, 2004).

La pollution par les hydrocarbures légers est très fréquente du fait de l'utilisation généralisée de ces hydrocarbures couramment commercialisés, comparativement à d'autres hydrocarbures lourds qui ont des viscosités élevées, et sont peu solubles dans l'eau et peu volatils. Ces composés sont assez biodégradables à l'exception toutefois de certains d'entre eux qui peuvent se révéler toxiques pour la microflore autochtone (Colin, 2000).

C'est un groupe de composés organiques constitué par des dérivés hydrogènes du carbone. Les hydrocarbures, exception faite du plus léger d'entre eux, le méthane qui constitue le gaz naturel, se rencontrent essentiellement dans le pétrole, roche liquide qui est un mélange complexe de ces composés (Ramade, 2002).

D'après Battaz (2009), les hydrocarbures se forment à partir de débris d'algues, de résidus de la faune marine et du plancton. Alors le vieillissement, la température et la pression qui s'exercent sur les fonds marins transforment ces substances organiques en hydrocarbures.

1.1. Classifications des hydrocarbures :

Les hydrocarbures constituent la fraction la plus importante d'un brut pétrolier, ils représentent entre 65 et 95 % de la plupart des pétroles bruts.

Selon Soltani (2004), les composés pétroliers peuvent être classés en quatre familles principales (fig. 1 et tableau 1) qui sont présentes dans le brut en proportion variable selon son origine ; les hydrocarbures saturés (30 à 70 %), les hydrocarbures aromatiques (20 à 40 %), les composés polaires (5 à 25%) et les asphaltées (0 à 10 %).

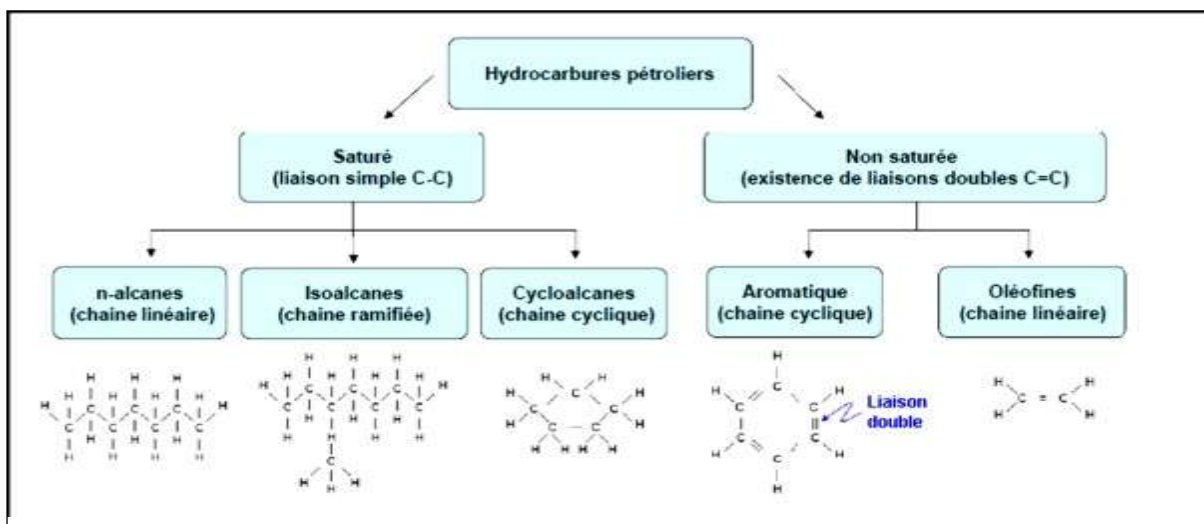


Figure 1 : Structure moléculaire de base des principaux hydrocarbures pétrolier (Colombano et al., 2010).

Tableau 1 : Classification générale des hydrocarbures (Guibet, 1997)

Famille	Désignation	Exemples	Liaisons
Aliphatiques	Saturés	Alcanes	Liaison simple
		Cyclo alcanes	
	Insaturés	Alcènes	Liaison double
		Cyclènes	
		Alcynes	Triple liaison
Aromatiques	Noyau benzénique	HAM	1 noyau benzénique
		HAP	Au moins 2 noyau benzénique
Résines et Asphaltées	Fraction lourde de pétrole	Structure très peu connu	

1.2. Caractéristiques physico-chimiques des hydrocarbures :

1.2.1. Densité :

La plupart des hydrocarbures ont des densités comprises entre 0,7 et 0,99 g/ml à 15 °C ; par conséquent, ils flottent sur l'eau. Cependant, la densité a tendance à diminuer pendant les processus d'altération des hydrocarbures, plus particulièrement lors du processus d'évaporation des fractions plus légères, lors des changements de température, ou de l'interaction avec des particules (Radoviš et al., 2012). Ainsi, les hydrocarbures coulent lorsque la densité des hydrocarbures devient supérieure à celles de l'eau douce (1,0 g/cm³) ou de l'eau marine (1,03 g/cm³).

1.2.2. Viscosité :

La viscosité d'un hydrocarbure définit sa résistance à l'écoulement. Elle influe directement sur la perméabilité au niveau du sol. Elle est fondamentalement caractérisée par la proportion de composés lourds et légers que les pétroles contiennent (Colin, 2000).

En effet, plus la température est élevée, plus la viscosité est basse et plus les hydrocarbures pétroliers ont tendance à s'évaporer ou à se propager rapidement au niveau du sol (Nicolas et al., 2015).

1.2.3. Solubilité :

C'est la solubilité des hydrocarbures dans l'eau (CEAEQ, 2015). Plus la proportion d'hydrocarbures légers sera importante, plus la solubilité du produit pétrolier dans l'eau sera significative (Grimberg et al., 1996)

1.2.4. Volatilité :

La volatilité conditionne la répartition du produit entre la phase gazeuse et la phase liquide. Elle est définie, d'une part, par la pression de vapeur, et d'autre part, par la courbe de distillation (Ballerini et al., 2007).

1.2.5. Caractéristiques de distillation :

Elles reflètent sa volatilité. Lorsque la température d'un hydrocarbure augmente, certains composés de ce produit arrivent à leur point d'ébullition et se distillent (Lefebvre, 1978).

1.2.6. Température d'ébullition :

Les températures d'ébullition des hydrocarbures normaux augmentent avec leurs nombres d'atomes de carbone. Ceci résulte de l'augmentation des attractions entre les molécules lorsque la longueur de la chaîne augmente. L'introduction de la ramification dans la chaîne principale diminue la température d'ébullition. Le pentane normal, par exemple, bout à 36°C ; l'iso-pentane (méthyl-butane) bout à 28°C ; et le néo-pentane (tétra-méthane) à 9,5°C.

1.2.7. Point d'écoulement :

C'est la température en dessous de laquelle un hydrocarbure ne s'écoule plus. Si la température ambiante est inférieure à son point d'écoulement, le produit se comporte comme un solide (Lallemand et al., 2005).

1.2.8. Température de fusion :

Le point de fusion des alcanes normaux augmente avec le nombre d'atomes de carbone, mais de façon non régulière.

1.2.9. Point d'éclair :

C'est la température à partir de laquelle un produit dégage suffisamment de vapeur pour former, avec l'air, un mélange inflammable au contact d'une flamme ou d'une étincelle (CEAEQ, 2015)

1.3. Sources de pollution du sol par les hydrocarbures :

La contamination du sol par les hydrocarbures occupe une position particulière en raison de la toxicité et de l'effet cancérigène de certains d'entre eux, et des quantités importantes susceptibles d'être introduites dans le sol. Ce phénomène s'est accentué ces dernières années avec l'augmentation remarquable de la consommation des hydrocarbures.

Les hydrocarbures peuvent être libérés dans l'environnement par des phénomènes naturels. Toutefois, on considère que les activités anthropiques sont une source importante de rejets d'hydrocarbures dans l'environnement. Ce phénomène est logiquement accentué aux endroits où l'industrialisation et l'urbanisation sont les plus développées (Battaz, 2009).

La pollution par les hydrocarbures résulte de divers phénomènes liés à l'extraction du pétrole, à son transport et, en aval, à l'utilisation des produits finis : carburants et lubrifiants (Ramade, 2005).

1.3.1. Cas des stations-services :

Les stations-services représentent une source importante de pollution car les accidents qui se produisent dans ces stations provoquent, le plus souvent, des pollutions du sol et du sous-sol. La pollution du sol dans ces stations (fig. 2) est due, d'une part à une pollution chronique qui se produit sur une longue période et due à la corrosion des cuves enterrées le plus souvent (Pate, 2002), ou à la corrosion (ou fuite) des canalisations enterrées (Piedrafita et Carnicer, 2007).



Figure 2 : Sources de contamination du sol dans une station-service (Piedrafita et Carnicer, 2007)

1.3.2. Liquides contaminants :

Les principaux liquides qui peuvent se trouver dans une station-service et susceptibles de provoquer une pollution du sol et/ou des eaux souterraines sont les carburants (essence, gazole) et les lubrifiants (huiles, graisses, liquides de freins) (Harrison et al., 2010).

1.3.2.1. Carburants :

Les carburants tels que l'essence et le gazole sont stockés et vendus dans les stations-services. Il s'agit de mélanges complexes d'hydrocarbures pétroliers. Leur composition en hydrocarbures dépend de facteurs comme l'origine du pétrole brut soumis au raffinage et les conditions de raffinage (Gente et al., 2012).

L'essence est un liquide incolore ayant une odeur caractéristique. Elle peut être colorée en jaune. Elle se compose principalement (fig. 3) de chaînes d'hydrocarbures de 4 à 12 atomes de carbone (Dashti et al., 2015).

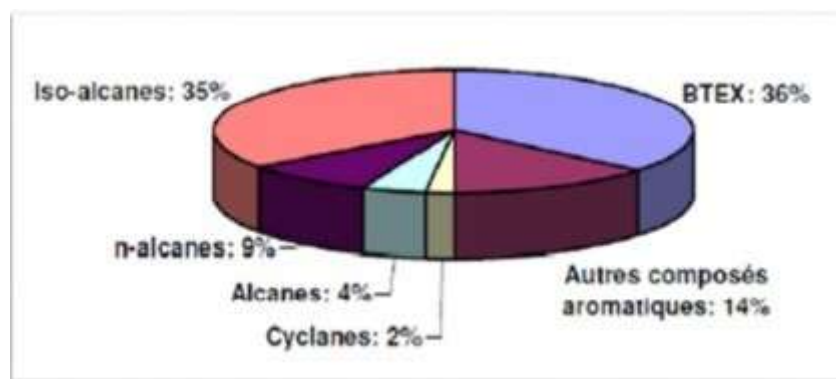


Figure 3 : Composition des essences (Marchal et al., 2003)

Les gazoles contiennent 2000 à 4000 hydrocarbures différents, dont le nombre d'atomes de carbone varie entre 11 et 25 (fig. 4). Les gazoles sont donc plus lourds que les essences et sont composés de produits moins volatiles. Ils ne contiennent pas d'acènes et sont majoritairement constitués de n-alcanes et de cyclo alcanes (Saada et al., 2005).

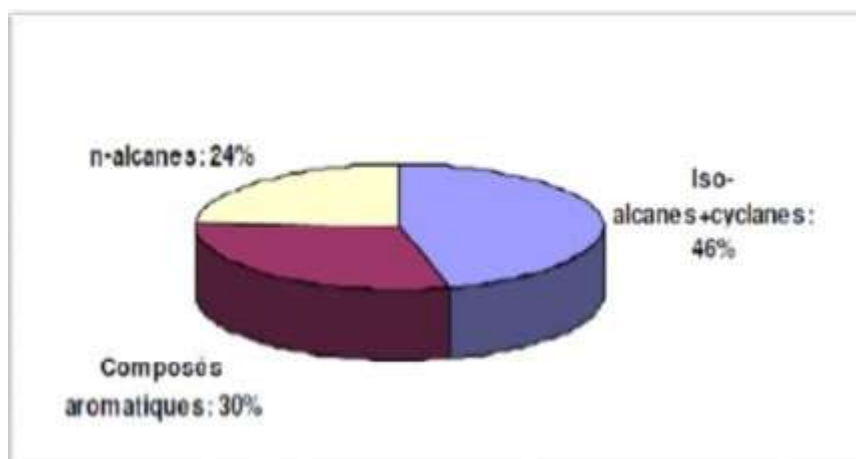


Figure 4 : Composition du gazole (Marchal et al., 2003)

1.3.2.2. Lubrifiants :

Les lubrifiants sont un mélange d'huile de base et d'additifs qui renforcent les qualités naturelles de cette huile. Les bases minérales sont le constituant principal de l'huile (75 à 85%). Elles peuvent être d'origine minérale ou synthétique. Les bases minérales sont produites par le raffinage du pétrole brut et les bases synthétiques par synthèse chimique (Pirro et Wessol, 2001).

1.4. Devenir des hydrocarbures dans le sol :

Le comportement des hydrocarbures dans le sol (fig. 5) est déterminé par leurs propriétés telles que leur solubilité, leur dégradabilité chimique ou biologique, leur volatilité ou leur facilité à être adsorbés. Les hydrocarbures peuvent se répartir sur les parties solides du sol ou dans l'eau qu'il contient, être conduits vers les plantes en même temps que leurs substances nutritives et/ou être amenés par lessivage jusque dans la nappe phréatique. La dégradation des composés organiques naturels et synthétiques dans le sol a lieu, avant tout, par voie microbiologique et chimique, évidemment plus rarement par voie photochimique (Bliefert et Perraud, 2001).

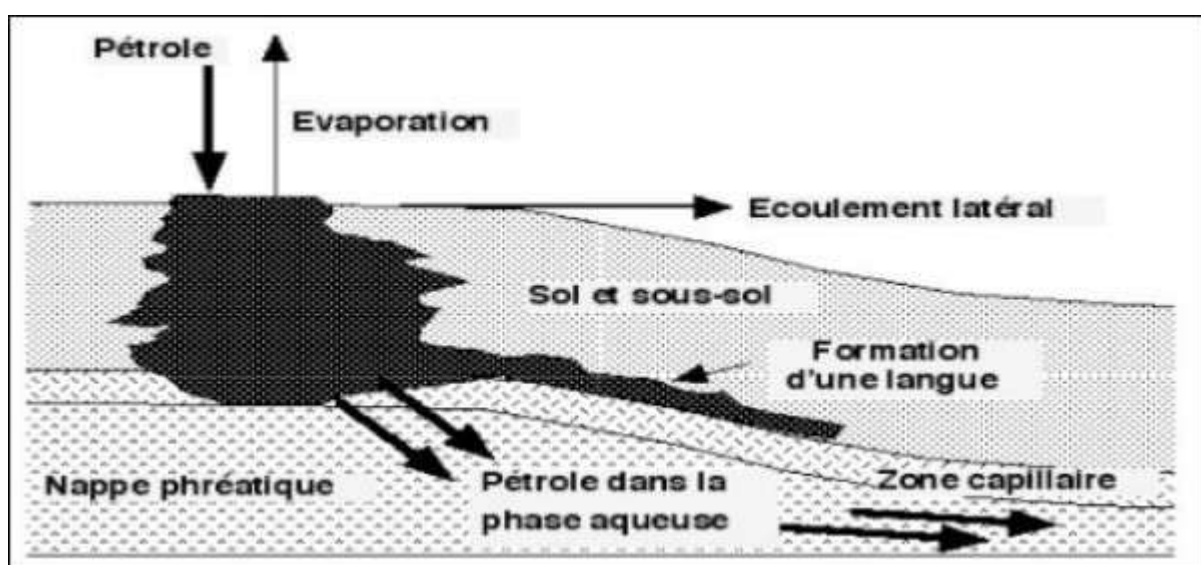


Figure 5 : Devenir d'une pollution pétrolière à la surface du sol (Roger et Jacq, 2000).

1.4.1. Solubilisation :

Certains composés solubles se dissolvent au contact de l'eau, ce qui rend quasi-impossible leur récupération (Laurent et al., 2005).

1.4.2. Biodégradation :

La biodégradation (fig. 6) est le processus naturel le plus important dans la dépollution de l'environnement (Vogel, 2001 in Boudershem 2011). Il est important de noter que les hydrocarbures solubles sont parmi les plus dangereux pour l'environnement, ils sont difficiles à éliminer et sont absorbés (Chocat, 2004).

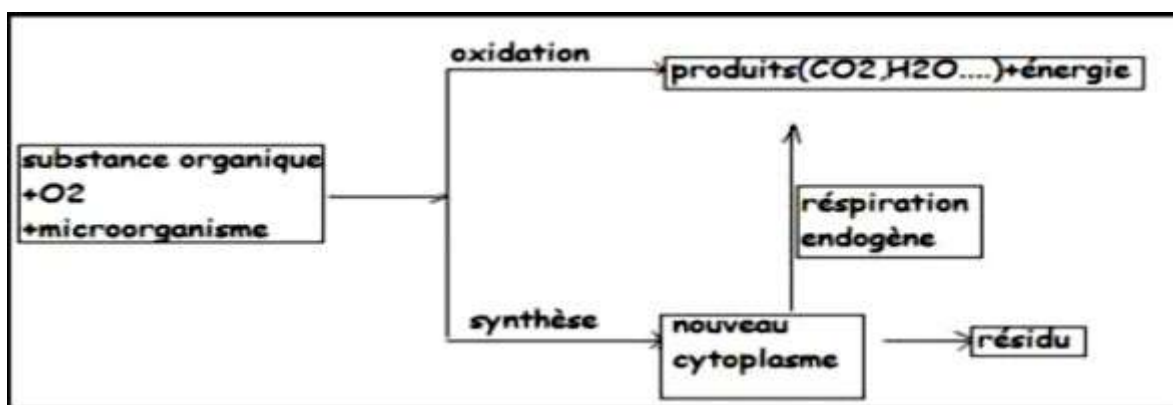


Figure 6 : Dégradation microbienne des matières organique (Hongwei et al., 2002).

1.4.3. Dégradation physico-chimique :

La photo-oxydation s'observe en surface mais aussi dans les vapeurs atmosphériques. Les HAP peuvent être dégradés par photo-oxydation et par des réactions d'oxydation. Ce mécanisme est relativement important et permet une nette diminution des HAP dans le sol (Laurent et al., 2005).

1.4.4. Volatilisation :

Les composés légers se volatilisent et deviennent très mobiles. Les hydrocarbures les plus légers sont éliminés rapidement dès les premiers jours, pouvant conduire à une pollution de l'atmosphère (Soltani, 2004).

1.5. Effets des hydrocarbures sur le sol :

L'exploitation des hydrocarbures nécessite et engendre des opérations et activités importantes qui perturbent notre environnement (Alvarez, 2011). Les impacts de la pollution du sol par les hydrocarbures sont multiples.

1.5.1. Effets sur les propriétés physiques :

Les études réalisées dans le but de déterminer l'effet des hydrocarbures sur les propriétés physiques du sol sont vraiment limitées. Néanmoins, quelques observations intéressantes ont été faites par certains auteurs. La présence des hydrocarbures sur le sol modifie légèrement sa structure (Diagne et Talhi, 1999). D'après Rouquerol et ses collaborateurs (1987), les hydrocarbures enrobent les particules minérales et assurent leur dispersion.

Quant à Mettauier et ses collaborateurs (1987) in Fezani et Khider (2007), ils soutiennent l'idée que la présence des hydrocarbures améliorent la stabilité structurale du sol, accroissent sa rétention en eau et réduisent sa mouillabilité.

Selon l'étude réalisée par Belaid et Abdi (2021), le pH du sol pollué est inférieur à celui du sol non pollué. Le taux d'humidité est quatre fois plus élevé dans le sol pollué, ce qui serait dû au fait que les hydrocarbures empêchent l'eau du sol de s'évaporer.

1.5.2. Effets sur les propriétés chimiques :

Les effets des hydrocarbures sur les propriétés chimiques du sol consistent généralement en une augmentation de la concentration en éléments traces tels que Mn, Zn, Fe, Pb, du pH du sol, de la teneur en potassium (K), en calcium (Ca), de la conductivité électrique (CE) entraînant l'inhibition de certaines plantes très sensibles à la présence des sels, une diminution de la teneur du sol en phosphore (P) et une augmentation en carbone organique total (Chaineau et al., 1996).

1.5.3. Effets sur les propriétés biologiques :

Les effets des hydrocarbures sur l'activité biologique du sol dépendent de leur nature, de leur concentration dans le sol et d'autres facteurs liés au milieu (Duchaufour, 2001).

Dommergues et Mangenot (1970) ont affirmé qu'un sol imprégné par les hydrocarbures présentait un très grand nombre de germes (bactéries, actinomycètes, champignons) revivifiables.

Rouquerol et ses collaborateurs (1987) ont également avancé que l'imprégnation des sols en hydrocarbures avait pour effet global une multiplication intense de la microflore en particulier des champignons, des bactéries et des levures.

1.5.4. Effets sur le végétal :

Les effets toxiques des hydrocarbures sur les végétaux sont très divers selon les familles et ces effets peuvent également varier en fonction de la concentration. L'effet des hydrocarbures a été observé à travers la diminution du taux de germination et du rendement, ainsi que les retards de croissance (Chaineau et al., 1996 ; Henner et al., 1999). L'apparition des chloroses, les diminutions de l'activité photosynthétique et un stress hydrique a été signalés par Reilly et al. (1996) in Norini (2007).

Le type d'hydrocarbures, la durée de contact et surtout le niveau de toxicité, influent sur l'importance de l'impact. Les hydrocarbures légers sont plus toxiques que les hydrocarbures lourds, ils sont généralement plus abondants dans les hydrocarbures déversés (Fattal, 2008).

Belaid et Abdi (2021) ont observé la pourriture de certaines graines dans le sol pollué au pétrole, ce qui a induit une diminution du taux de levée du haricot dans ce sol. Ces mêmes auteurs ont noté également que la croissance des plantes a été affectée par cette pollution.

2. Généralités sur les légumineuses :

Les légumineuses constituent l'un des groupes des végétaux supérieurs les plus abondants et les plus diversifiés. Cette famille est subdivisée en trois sous-familles : les Papilionoideae, les Mimosoideae et les Caesalpinoideae. Elle comporterait plus de 19000 espèces réunies en 750 genres et dont seulement 10% des espèces ont été examinées pour la nodulation racinaire ou caulinaire (Sprent et al., 1987).

2.1. Caractéristiques des légumineuses :

Les Légumineuses constituent un groupe de plante à fleurs (Angiospermes) Dicotylédones dont le fruit est une gousse. Elles sont essentiellement caractérisées par un pistil d'un seul carpelle. Les feuilles sont composées alternées souvent munies de stipules. Les fleurs sont généralement irrégulières (zygomorphes) (Doree, 2000). D'après Soltner (1988), ce sont des plantes allogames, ou à fécondation croisée. Leur appareil végétatif est herbacé caractérisé par un système racinaire moins fasciculé et plus profond que celui des graminées. Leur appareil reproducteur composé d'inflorescences, apparaît en général plus tardivement que les épis des graminées.

Leur rapport feuilles /tiges et leurs teneurs en matières azotées, plus élevées que ceux des graminées épiées, diminuent avec l'âge de la plante.

2.2. Systématique botanique :

Selon Gorenflot (1992) la systématique des légumineuses est comme suit :

Règne : végétal

Embranchement : Spermaphytes

Sous-embranchement : Angiospermes

Classe : Dicotylédones

Ordre : Fables

Famille : Fabacée (légumineuses)

2.3. Réactions des légumineuses aux stress polluants :

Les plantes peuvent répondre aux différents stress de diverses façons. Elles peuvent éviter les effets de stress en accomplissant leur croissance durant la période de moindre stress ou bien elles ne peuvent pas le supporter, auquel cas elles peuvent subir des lésions. Parfois des modifications spécifiques de leur métabolisme leur permettent d'éviter ou de tolérer les effets du stress (Hopkins, 1995). La plante peut répondre à un stress par une sorte de tolérance au bien de résistance pour ce polluant par leur capacité d'accumuler des polluants dans leurs tissus.

Chaineau et al. (1997) ont associé la réduction de la croissance et de la hauteur des plantes à la contamination du sol par les hydrocarbures.

Les acides aminés sont des facteurs clés dans le métabolisme et le développement des plantes supérieures. La proline est le plus stable des acides aminés, le plus largement distribuée chez les plantes (Bonhert et Sheveleva, 1998). Plusieurs travaux ont montré une corrélation entre l'accumulation de la proline et la tolérance des plantes aux perturbations de l'environnement. En effet, elle joue un rôle principal dans l'ajustement osmotique (Hare et al., 1997), et comme protecteur des systèmes enzymatiques et des membranes (Albouchi et al., 1997). Elle est aussi considérée comme source d'énergie permettant un recouvrement après le stress (Zhang et al., 1997).

Les composés phénoliques ou polyphénols sont des éléments du métabolisme secondaire chez les plantes. Les métabolismes secondaires sont des composés qui ne se rencontrent pas chez toutes les espèces, de ce fait ils n'entrent pas dans le métabolisme général des végétaux et n'exercent pas de fonction directe au niveau des activités fondamentales (Guignard, 2000).

2.4. Tissus végétaux :

2.4.1. Tissus primaires :

Pour fonctionner correctement, un tissu doit contenir les bonnes cellules dans la bonne disposition. Le même principe est vrai à plus grande échelle. Pour que les tissus d'un organe fonctionnent correctement, ils doivent être arrangés correctement (Mauseth, 1991).

2.4.1.1. Tissus cutanés :

Épiderme : se trouve à la surface la plus extérieure de la tige herbacée ou la couche de

cellules

du parenchyme. Leurs parois tangentielles extérieures sont l'interface entre les plantes et l'environnement et régulent les échanges de matériaux entre la plante et son environnement (Mauseth, 1991).

Cortex : se trouve vers l'intérieur après l'épiderme dans de nombreuses plantes, il est assez simple et homogène, composé d'un parenchyme photosynthétique et parfois de collenchyme. Il peut également être très complexe, contenant des cellules qui sécrètent du latex, du mucilage ou de la résine (Mauseth, 1991).

2.4.1.2. Tissus de remplissage et de soutien :

Parenchyme : ses cellules n'ont que des parois primaires qui restent fines. C'est le type de cellules et de tissus le plus commun, constituant les parties molles d'une plante (Mauseth, 1991).

Collenchyme : la paroi des cellules du collenchyme présente une plasticité c'est à dire la capacité d'être déformée par des pressions ou des tensions et de conserver la nouvelle forme même si la pression ou la tension cesse. Le collenchyme est présent dans les zones d'élongation, les extrémités des pousses qui doivent être longues et flexibles comme celles des plantes grimpantes comme la vigne (Mauseth, 1991).

Sclérenchyme : c'est le troisième type de tissus de base qui a, à la fois, une paroi primaire et une épaisse paroi secondaire qui est presque toujours lignifiée (fig. 7). Elles ont la propriété d'élasticité, elles se développent principalement dans les organes matures qui ont cessé de croître et ont atteint leur taille et forme appropriées (Mauseth, 1991).

2.4.1.3. Tissus vasculaires :

Le xylème et le phloème se trouvent ensemble sous forme de tissus vasculaires, situés juste à l'intérieur du cortex. Chez les dicotylédones, les tissus vasculaires sont disposés en un anneau entourant la moelle, une région de parenchyme similaire au cortex (Mauseth, 1991).

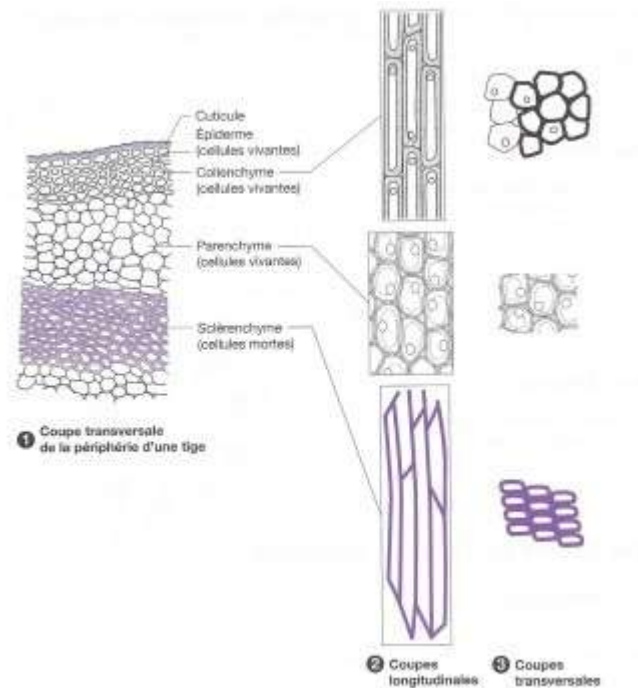


Figure 7 : Tissus de soutien primaires (Breuil, 2007).

Xylème : il assure la circulation de la sève brute (eau et sels minéraux provenant du sol), à partir des racines jusqu'aux organes de la photosynthèse. Le xylème est constitué de cellules mortes très allongées présentant des parois épaissies par des dépôts de lignine, interrompues par endroit pour permettre le passage de la sève brute (Mauseth, 1991).

Phloème : c'est un tissu conducteur de la sève élaborée. C'est un tissu vivant des plantes vasculaires qui comprend les éléments conducteurs avec les cellules conductrices d'assimilation (Aquaportail, 2009).

2.4.2. Tissus secondaires :

2.4.2.1. Cambium vasculaire :

Il forme vers l'intérieur le xylème secondaire, connu sous le nom de bois et vers l'extérieur le phloème secondaire connu sous le nom de liber (fig. 8).

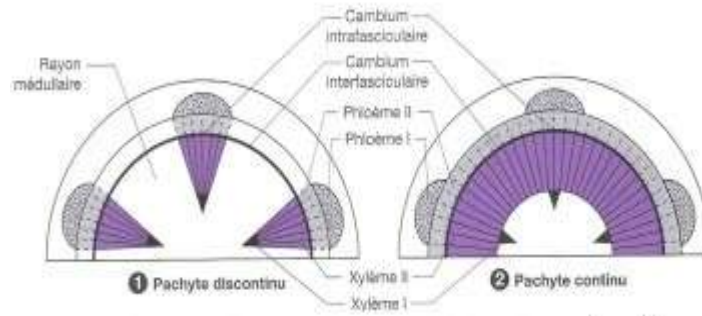


Figure 8 : formation des tissus secondaires conducteurs à partir du cambium (Breuil, 2007).

2.4.2.2. Xylème secondaire : toutes les cellules formées à l'intérieur du cambium vasculaire se développent en xylème secondaire, connu sous le nom de bois. Le xylème secondaire contient tous les types de cellules qui se trouvent dans le xylème primaire. Le bois peut contenir des trachéides, des éléments de vaisseau, des fibres, des sclérites et du parenchyme. Les seules vraies différences entre le xylème primaire et le xylème secondaire sont l'origine et la disposition des cellules. La disposition des cellules de xylème secondaire reflète celle des initiales fusiformes et des initiales de rayon (Mauseth, 1991 ; Rachel et Andrew, 2010).

2.4.2.3. Phloème secondaire : appelé aussi liber à cause de l'aspect feuilleté c'est par ce tissu que circule la sève élaborée (Denis-Jaques, 2019).

2.4.2.4. Assise subéro-phéllodermique (Phellogène) :

C'est un tissu secondaire constitué de plusieurs couches de cellules mortes et subérifiées en périphérie des organes secondaires (Mauseth, 1991).

2.4.2.5. Liège (Suber) : c'est un tissu de protection constitué par un manchon de cellules mortes imperméables contenant de la subérine, des cellules allongées à paroi épaisse et lignifiée (Bouزيد, 2018).

2.4.2.6. Phelloderme : tissu parenchymateux peu abondant contenant des chloroplastes. Il est produit par le phellogène vers l'intérieur, parfois inexistant. Il est présent chez les formes ligneuses (Denis-Jaques, 2019).

Chapitre II

Matériel et Méthodes

L'objectif de cette étude est de mettre en évidence un éventuel transfert des hydrocarbures dans les plantes et d'examiner leurs effets sur la formation des tissus dans les organes végétatifs.

1. Localisation du site d'échantillonnage :

Le site d'échantillonnage est une station-service située au Nord-Est de la commune de Fréha dans la vallée du haut Sebaou à 35 km à l'est de la ville de Tizi ousou. Elle est limitée au nord par la commune d'Aghribs, à l'est, par la commune d'Azazga, au sud, par les communes de Mekla et de Tizi-Rached, à l'ouest, par les communes de Tizi-Ouzou et Ouaguenoun et au nord-ouest, par la commune de Timizart (service technique de la commune de Fréha, 2013) (fig. 9 et 10).

Le choix de cette station est justifié par le fait qu'il y ait des fuites ou des déversements accidentels de carburants, et cela conduit à une pollution des sols, des sous-sols, et des terres agricoles.



Figure 9 : Situation géographique de la commune de Fréha dans la Wilaya de Tizi Ouzou



Figure 10 : Localisation de la station-service (Google maps, 2024)

2. Matériel

2.1. Le sol :

L'étude expérimentale a été réalisée sur un échantillon de sol provenant de la station-service de Fréha le 22/02/2024. L'échantillonnage a été réalisé selon un transect tracé sur une parcelle polluée sur une profondeur de 15cm.

D'après les analyses réalisées au laboratoire de pédologie de l'INRF de Baïnem, et au laboratoire de contrôle de qualité et conformité de Boumerdès, ce sol présente les caractéristiques consignées dans le tableau 2.

Tableau 2 : Caractéristiques du sol de la station-service.

Caractéristiques	Résultats
pH	7,2
COT (%)	2,09
N (%)	0,2

Le sol utilisé dans notre étude a une texture limono-argileuse et un pH neutre. Il est riche en carbone organique et faiblement pourvu en azote.

2.2. Matériel végétal :

Trois espèces de Fabacées ont été utilisées dans ce travail car ces espèces ont montré une bonne efficacité dans la phytoremédiation de sols pollués par les hydrocarbures.

2.2.1. Pois :

Le pois (*Pisum sativum* L.) (fig. 11), est une espèce de plante annuelle de la famille des Fabacées. Le terme désigne aussi la graine elle-même, riche en énergie (amidon) et en protéine (Clement, 1994).



Figure 11 : Plant du pois (*Pisum sativum* L.) (Anonyme, 2015).

2.2.2. Fève :

La fève (*Vicia faba* L.) (fig. 12) est une légumineuse (Fabaceae) dont la culture est d'origine méditerranéenne. Elle est cultivée pour ses graines comestibles, tout particulièrement en Russie où elle constitue un met traditionnel. En Algérie, on la cultive sur les plaines côtières et les zones sublittorales (Zaghouane, 1991).



Figure 12 : Plants de fève (*Vicia faba* L.) (Anonyme, 2015)

2.2.3. Pois chiche :

Le pois chiche (*Cicer arietinum* L.) est une plante de la famille des Fabacées (légumineuses), voisine du petit pois mais d'un genre botanique différent (fig. 13). Il est cultivé dans les régions méditerranéennes et produit une graine comestible. Il détient un double record : haute teneur en glucides assimilables et pourcentage élevé en protéine végétales (Weisgerber, 1904).



Figure 13 : Plant du pois chiche (*Cicer arietinum* L.) (Anonyme, 2015)

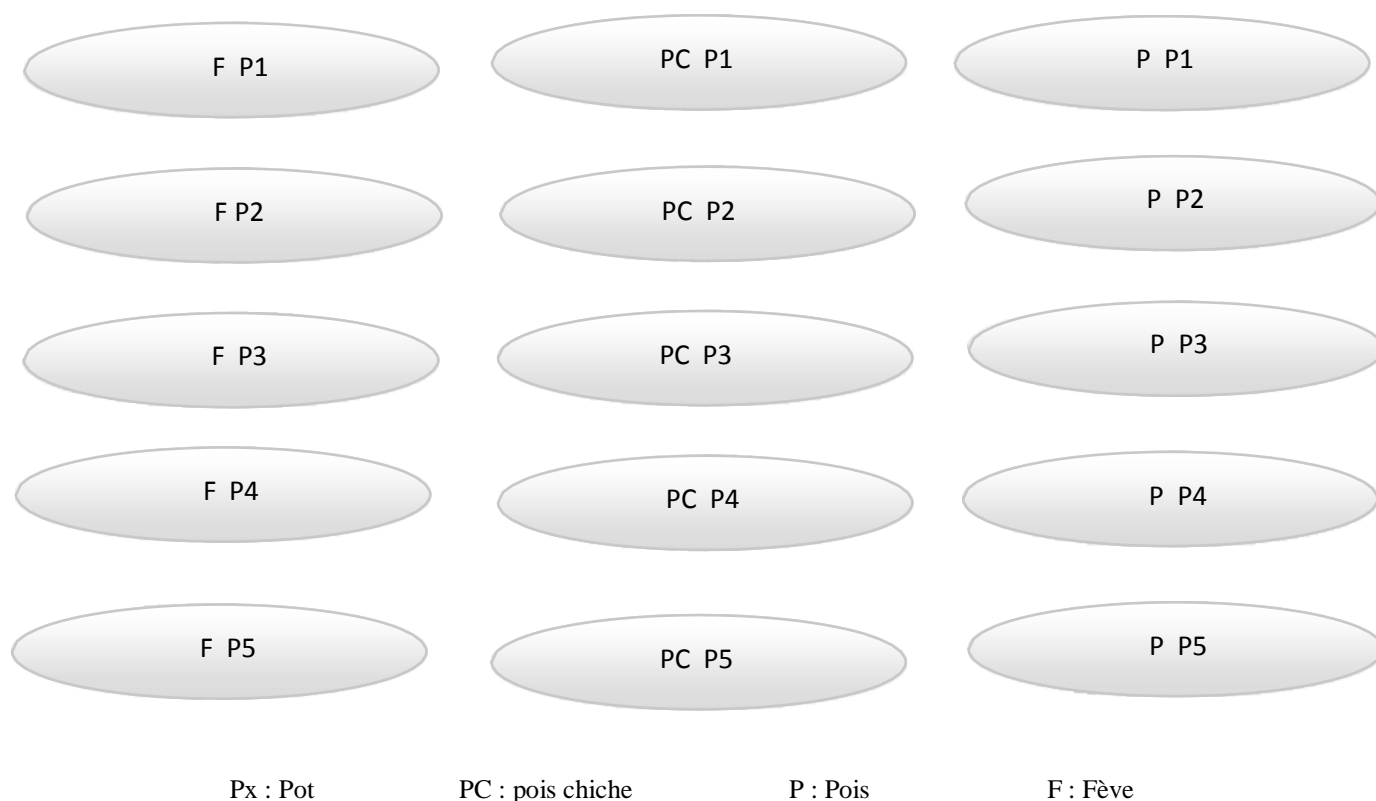
Les pots utilisés pour la culture ont un diamètre de 10cm et une profondeur de 10 cm, dans lesquels on met chacun 500 g de terre. Nous avons utilisé 15 pots pour l'expérience.

3. Méthodes :

Notre étude consiste en une évaluation de la croissance des plants des trois espèces végétales (fève, pois et pois chiche) et de leur teneur relative en eau, en l'observation microscopique des tissus de leurs tiges et de leurs racines ainsi que l'évaluation quantitative des hydrocarbures totaux et la caractérisation des HA dans le sol et dans les plantes.

3.1. Dispositif expérimental :

Une culture des trois espèces a été menée au laboratoire dans des pots de 15cm de diamètre et 15cm de profondeur. Cinq répétitions ont été réalisées pour chaque espèce (fig. 14).

**Figure 14** : Schéma du dispositif expérimental de la culture en pot.

3.1.1. Préparation du sol :

L'échantillonnage du sol a été effectué le 22/02/2024 à l'intérieur de la station-service de

Fréha, sur un transect comprenant quatre points de prélèvement sur la couche superficielle de sol (0 à 15cm).

Le sol a été transporté dans des sacs en plastiques au laboratoire de Pathologie et protection des écosystèmes de la FSBSA où il a été tamisé avec un tamis à mailles de 5mm de diamètre.

3.1.2. Mise en place des cultures :

Le semis a été réalisé le 27/03/2024 pour les trois espèces à savoir le pois, le pois chiche et la fève. Chaque pot contenant un 1kg de sol contaminé, a reçu 3 graines semées à une profondeur de 2cm. Un arrosage juste après le semis a été réalisé, pour permettre une bonne germination des graines. Afin d'assurer un bon drainage, une couche de sable a été placée sous le sol sur une épaisseur de 2cm.

3.1.3. Suivi des cultures :

Le suivi des cultures en place a consisté en un arrosage régulier à l'eau de robinet pendant 6 semaines. L'eau percolée est réutilisée pour l'arrosage afin de maintenir la concentration des hydrocarbures dans le sol. Un tuteurage a également été effectué afin de maintenir les tiges dressées (fig. 15 et 16). La récolte des plants a eu lieu le 20/05/2024.



Figure 15 : Tuteurage de la fève cultivée sur le sol pollué.



Figure 16 : Tuteurage du pois et du pois chiche cultivés sur le sol pollué.

3.2. Évaluation de la croissance des plantes :

3.2.1. Hauteur des plants et longueur des racines :

Après la récolte, la hauteur des plants (du collet au bourgeon terminal) et la longueur de la racine principale de chaque plant ont été mesurées à l'aide d'une règle graduée.

3.2.2. Biomasse :

Il s'agit de peser la partie aérienne des plants séchés, de chaque sol pour déterminer la biomasse aérienne et la partie racinaire des plants après rinçage afin de déterminer la biomasse racinaire. La biomasse totale des plantes a été obtenue par la somme des deux biomasses.

3.3. Teneur relative en eau (RWC) :

La RWC renseigne sur l'utilisation de l'eau par la plante surtout en conditions de stress.

Après la récolte, les plants ont été pesés à l'état frais avec une balance de précision puis placés dans des sacs à zip remplis d'eau pendant 12h à l'obscurité. Les plants ont été pesés une deuxième fois à l'état turgescent. Une troisième pesée a été effectuée après séchage des plantes à l'étuve. La RWC a été alors calculée par la formule : $RWC(\%) = (PF - PS) \times 100 / (PT - PS)$

PF : pois frais ;

PS : poids sec ;

PT : poids turgescent.

3.4. Observation des tissus végétaux :

Après avoir séparé les tiges et les racines des plants des trois espèces ; le pois, la fève et le pois chiche, des coupes transversales ont été réalisées sur ces organes qui ont ensuite soumises à la double coloration au rouge Congo et au vert de méthyle (fig. 17). Les coupes ont par la suite été observées entre lame et lamelles au microscope optique.

3.5. Évaluation de la quantité des hydrocarbures :

Les hydrocarbures totaux ont été extraits des sols et des plantes puis quantifiés par la méthode gravimétrique.

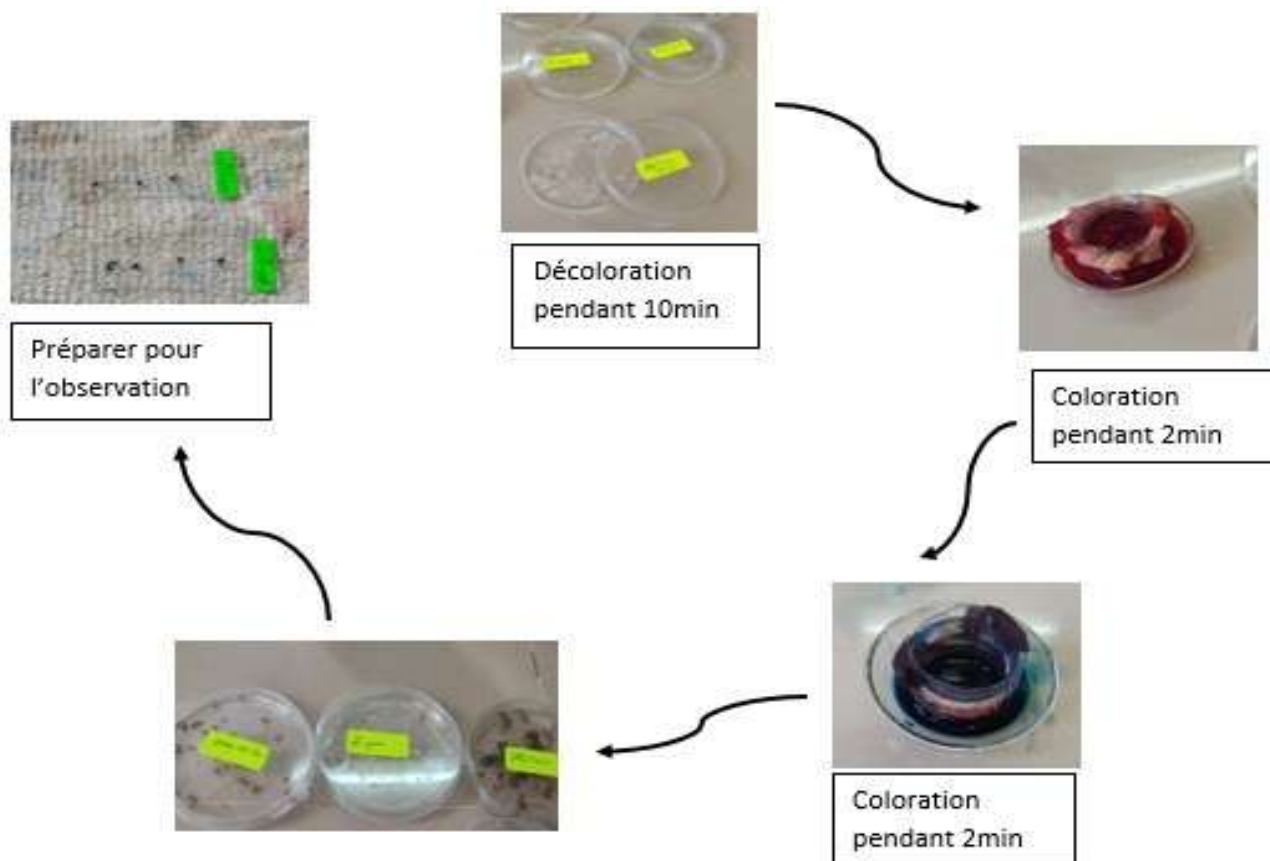


Figure 17 : Etapes de la double coloration des coupes végétales.

3.5.1. Dans le sol :

L'évaluation est effectuée par l'extraction des hydrocarbures totaux contenus dans les sols cultivés par le pois, le pois chiche et la fève, afin de déterminer la quantité des hydrocarbures résiduels dans les sols après la récolte des plants.

L'extraction a été réalisée en mélangeant une quantité de sol avec l'hexane au rapport 1/5 (P/V) avec agitation pendant 6h. Après agitation, le mélange a été filtré à l'aide d'un papier filtre. Le filtrat est versé dans un récipient pré-pesé et laissé à découvert jusqu'à évaporation totale du solvant. Le récipient est à nouveau pesé et la quantité d'hydrocarbures a été obtenue par soustraction (fig. 18).

3.5.2. Dans les plantes :

L'évaluation a été effectuée par l'extraction des hydrocarbures contenus dans les plantes après les avoir séchées et découpées. L'extraction a été réalisée sous agitation pendant 6h du mélange des plantes avec l'hexane. L'extrait a été filtré et le filtrat versé dans un récipient

pré-pesé et

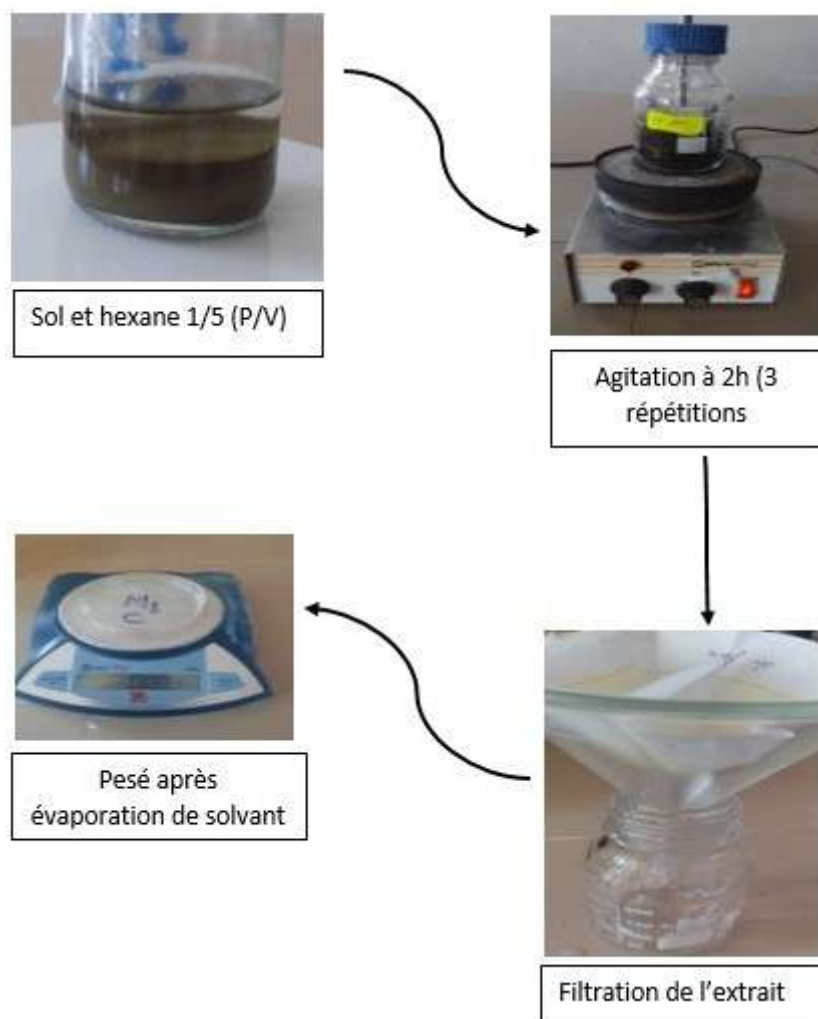


Figure 18 : Protocole d'extraction des hydrocarbures totaux du sol.

laissé à découvert jusqu' à évaporation totale du solvant. Le récipient a été à nouveau pesé et la quantité d'hydrocarbures totaux a été obtenue par soustraction.

3.6. Caractérisations des HA par spectroscopie UV :

La spectroscopie UV-Visible (fig.19) permet d'accéder qualitativement à des renseignements quant à la nature des liaisons présentes au sein de l'échantillon mais également de déterminer quantitativement la concentration d'espèces absorbant dans ce domaine spectral.

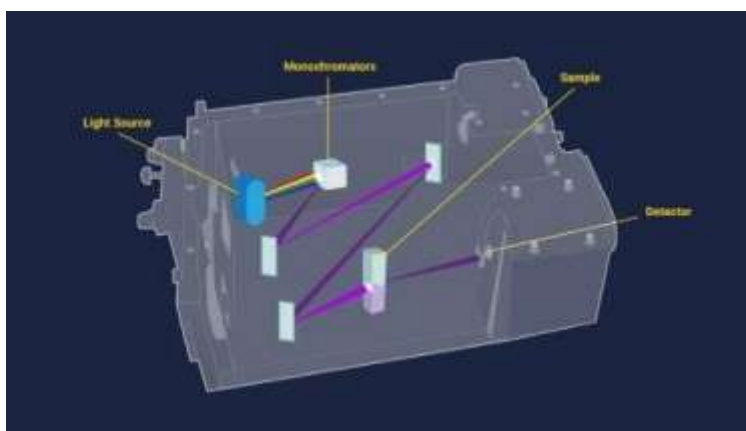


Figure 19 : Schéma de principe d'un système de spectroscopie UV-Vis à cuvette (Justin, 2023).

La composition en HA des hydrocarbures contenus dans les sols et dans les plantes a été déterminée par spectroscopie UV. Les HA recherchés dans les échantillons sont ceux classés par l'USEPA comme polluants prioritaires de l'environnement car ce sont les plus dangereux.

Après extraction des hydrocarbures totaux à partir des sols et des plantes, les filtrats ont été dilués dans l'hexane à un rapport (1/3). La solution obtenue a été versée dans une cuve destinée à être placée dans le spectrophotomètre UV-Vis. Dans une autre cuve a été versé de l'hexane considéré comme étant un blanc.

Le blanc a été placé dans l'UV-vis et l'absorbance a été lue aux longueurs d'ondes caractéristiques des HA. L'échantillon a ensuite été placé dans le spectrophotomètre et les absorbances ont été lues aux mêmes longueurs d'ondes (fig. 20).

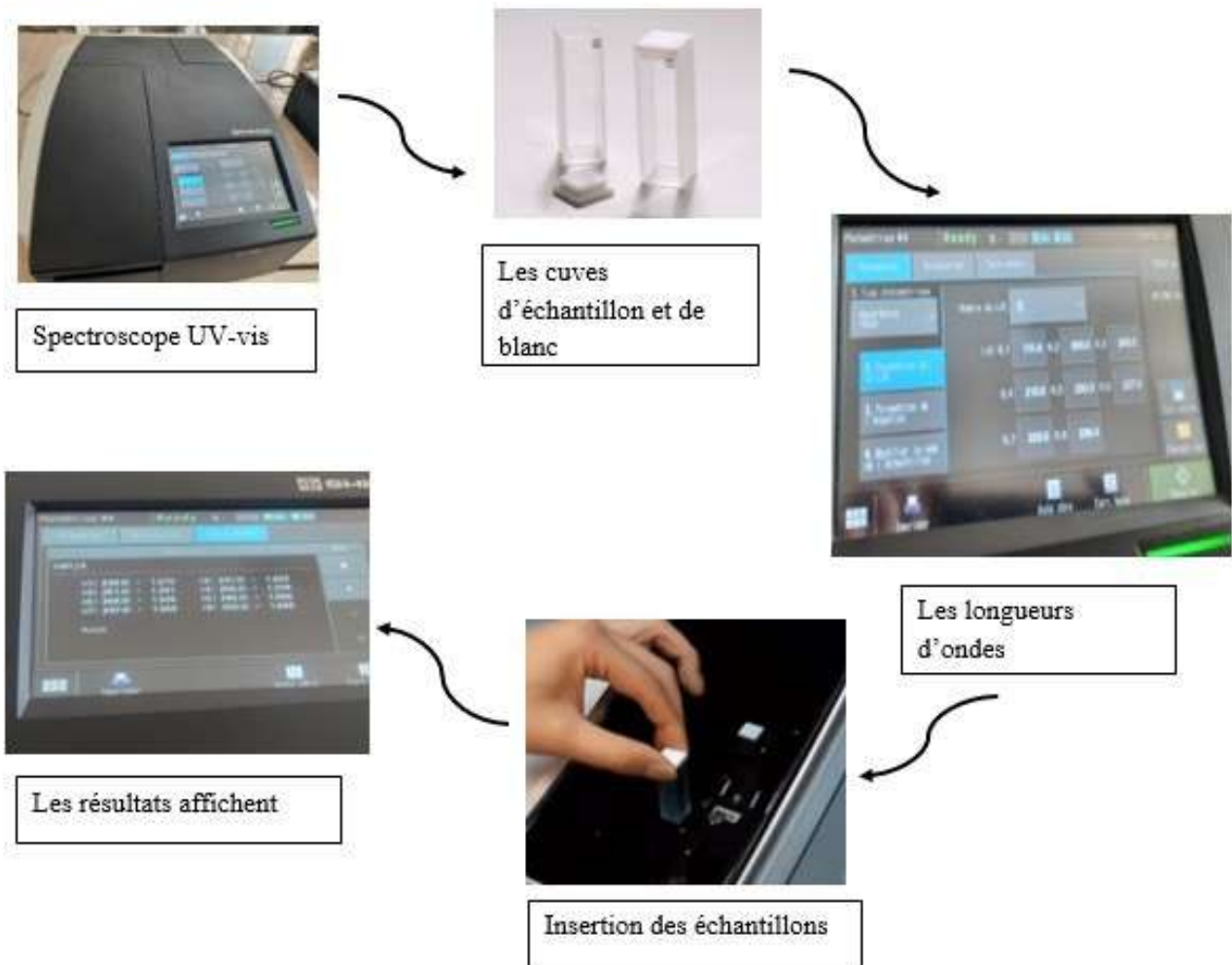


Figure 20 : Etapes de la caractérisation des HA par spectroscopie UV.

3.7. Analyse statistique :

L'analyse statistique des données a été faite avec le logiciel R 3.6.3. Les résultats obtenus ont été soumis à une analyse de la variance à un seul critère de classification lorsque les données sont gaussiennes et les variances égales. Dans le cas contraire, c'est le test non paramétrique de Kruskal-Wallis qui a été appliqué.

Lorsque les différences entre les moyennes sont significatives, des groupes homogènes ont été établis par le test Post-hoc approprié.

Chapitre III

Résultats et discussion

1. Résultats :

1.1. Evaluation de la croissance des plants

Les trois espèces que nous avons cultivées à savoir la fève, le pois et le pois chiche ont été affectée par la présence des carburants. La comparaison entre les trois espèces nous renseignera sur la différence de leurs tolérances vis-à-vis de ces contaminants.

1.1.1 Hauteur des plantes :

Les résultats de mesure des hauteurs des différentes plantes, sont présentés dans la figure 21. La hauteur moyenne de la tige de la fève est la plus élevée parmi les trois types de plantes, avoisinant les 70cm, suivie du pois chiche avec une moyenne de 65cm, tandis que le pois a eu les tiges les plus courtes se situant autour de 35cm.

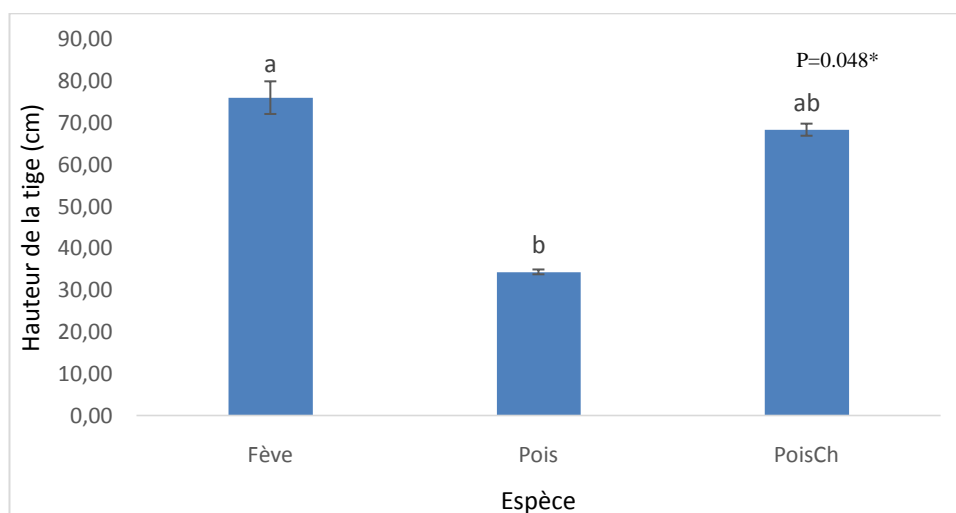


Figure 21 : Hauteur des tiges des trois espèces végétales.

Le test de Kruskal-Wallis a révélé que les différences observées entre les hauteurs des tiges des trois espèces étaient significatives ($p = 0,048$). La fève a été classée dans le groupe "a", le pois chiche dans le groupe "ab" et le pois dans le groupe "b".

1.1.2. Longueur des racines :

La longueur moyenne des racines de la fève est la plus grande parmi les trois espèces (figure22), avoisinant les 22cm, suivie par le pois chiche (10cm), tandis que le pois à les racines les plus courtes (5 cm).

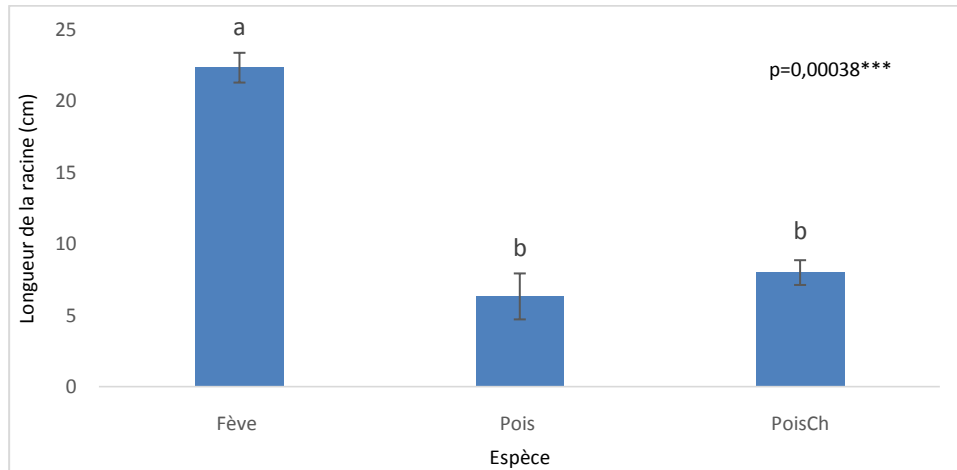


Figure 22 : Longueur des racines principales des trois espèces végétales

L'anova a montré que les différences de longueur entre les racines principales des trois espèces étaient très hautement significatives ($p = 0,00038$). Le test de Newman-Keuls a classé ces moyennes en deux groupes homogènes ; "a" contenant la fève et "b" contenant le pois et le pois chiche.

1.1.3. Biomasse :

La fève a présenté les biomasses végétale, aérienne et racinaire les plus élevées dépassant 2, 2 et 0,2% respectivement, suivie du pois puis du pois chiche (figure 24).

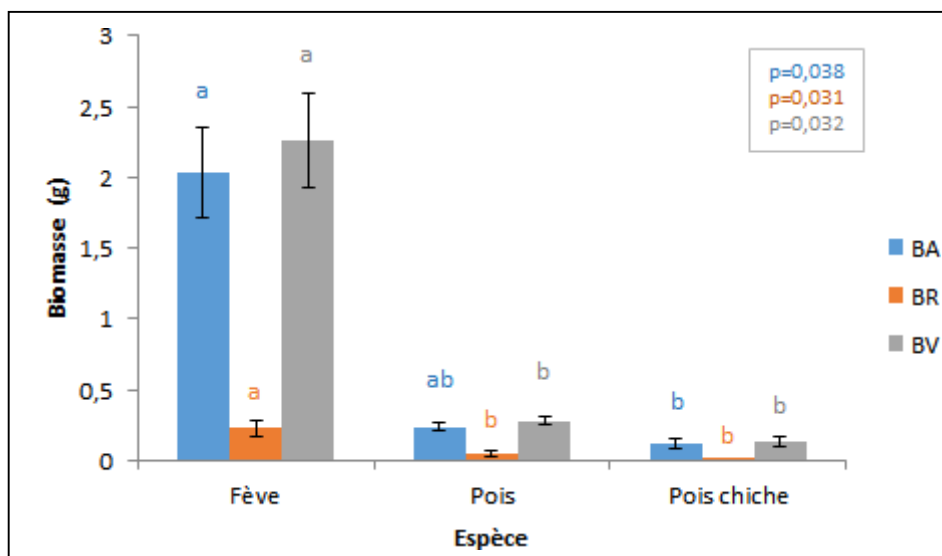


Figure 24 : Biomasse aérienne, racinaire et totale des trois espèces végétales

Le test de Kruskal-Wallis a fait ressortir des différences significatives entre les biomasses aériennes ($p=0,038$), racinaires ($p=0,031$) et totales ($p=0,032$) des trois espèces.

Pour la biomasse aérienne, la fève a été classée dans le groupe « a », le pois dans le groupe « ab » et le pois chiche dans le groupe « b ». Concernant les biomasses racinaires et totales, la fève a été classée dans le groupe « a » et les deux autres espèces dans le groupe « b ».

1.2. Relative Water Content (RWC) :

La figure 23 présente les pourcentages de la teneur relative en eau (RWC) des trois types de légumineuses : la fève, le pois et le pois chiche

La fève présente la rétention en eau la plus élevée de 77%, Le pois a présenté la RWC la plus basse se situant autour de 62%. Le pois chiche a une RWC de 69%

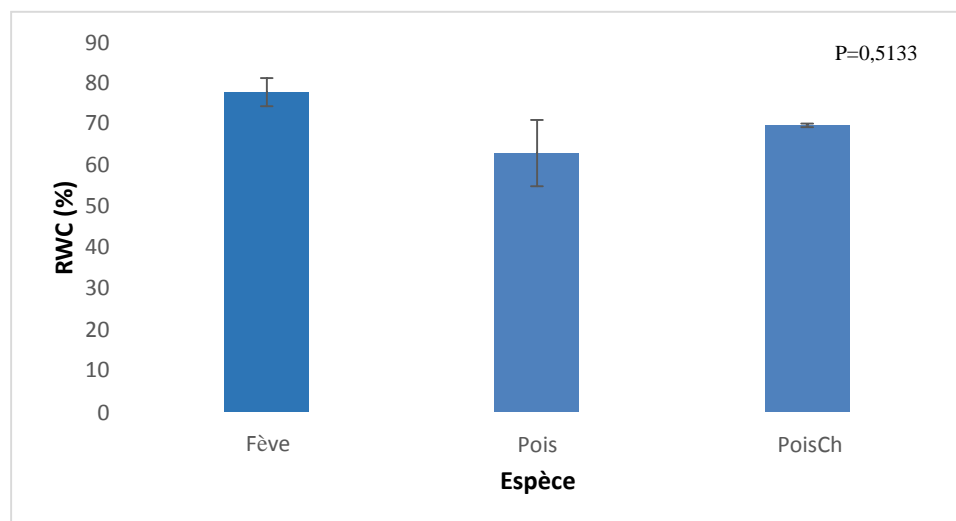


Figure 23 : Teneur relative en eau des trois espèces végétales

L'anova n'a pas révélé de différences significatives entre la RWC des trois espèces végétales ($p = 0,5133$).

1.3. Analyse anatomique des plantes :

Sur le plan anatomique, les photographies (figure 24) montrent qu'aussi bien le pois que le pois chiche présentent des tissus secondaires. Ceci ressort dans les coupes transversales des tiges et des racines. La fève, par contre n'a présenté que des tissus primaires.

Par ailleurs, nous n'avons observé aucun nodule au niveau des racines en dépit de la biomasse élevée des racines de la fève.



Figure 25 : Photographies des tissus de la tige (TF) et de la racine (RF) de la fève, de la tige (TP) et de la racine (RP) du pois et de la tige (TPC) et de la racine (RPC) du pois chiche.

1.4. Etude quantitative des hydrocarbures

1.4.1. Dans les plantes

Le tableau présent des données sur les quantités d'hydrocarbures extraits des plantes des trois espèces végétales : la fève, pois et pois chiche.

Les plantes du pois ont présenté la plus grande quantité d'hydrocarbures 0,75g par rapport aux autres espèces qui ont eu respectivement 0,52g et 0,66g pour le pois et le pois chiche.

Tableau 3 : Quantité d'hydrocarbures extraite des trois espèces

Espèce	Quantité (mg/g MS)
Fève	0,52
Pois	0,75
Pois chiche	0,66

Le test de kruskal-Wallis n'a pas révélé de différences significatives entre les quantités d'hydrocarbures dans les plants des trois espèces.

1.4.2. Dans le sol :

Le tableau présent des données sur les quantités d'hydrocarbures extraits du sol cultivés par les trois espèces végétales : la fève, pois et pois chiche.

Les sols ou la fève a été cultivé ont présenté la plus grande quantité d'hydrocarbures (0,65g) par rapport aux autres sols qui ont eu respectivement 0,25 et 0,29g pour le pois et le pois chiche.

Tableau 4 : Quantité d'hydrocarbures extraite des de sol cultivés par les trois espèces.

Espèce	Quantité (mg/g MS)
Fève	0,65
Pois	0,25
Pois chiche	0,29

1.5. Etude qualitative des hydrocarbures :

L'analyse des HA résiduels dans le sol et les plantes a fait ressortir disparités dans leur composition.

1.5.1. Dans le sol :

Des composés comme le benzo(k)anthracène, le pyrène, le phénanthrène ont des concentrations relativement élevées dans tous les échantillons de sol particulièrement dans le sol cultivé par la fève. Le benzène et le fluorène ne sont détectés dans aucun des échantillons (tableau 5).

Dans les sols cultivés par le pois et le pois chiche, les concentrations des autres HA sont relativement faibles exception faite pour l'acénaphène et le fluoranthène (pois) et le benzo(g-h-i) pérylène (pois chiche) où les concentrations ont été les plus élevées.

Ceci montre que le pois et le pois chiche ont induit une décontamination plus efficace du sol.

Tableau 5 : Composition des HA dans le sol cultivé par les trois espèces

HA	LO (nm)	Fève	Pois	Pois chiche
benzène	200	0,00	0,00	0,00
fluorène	205	0,00	0,00	0,00
benzo(g-h-i)pérylène	210	0,09	0,07	0,15
naphtalène	220	0,00	0,00	0,07
acénaphène	227	0,05	0,12	0,13
acénaphtylène	229	0,13	0,43	0,36
fluoranthène	236	0,06	0,85	0,67
benzo(k)fluoranthène	238	2,58	2,18	2,34
pyrène	241	2,52	2,17	2,20
phénanthrène	251	2,59	2,25	2,30
benzo(b)fluoranthène	256	2,59	2,27	2,41
chrysène	268	2,46	2,20	1,97
benzo(a)anthracène	286	1,97	1,78	1,70
dibenzo(a,h)anthracène	297	1,73	1,64	1,68
indéno(1,2,3-c,d)pyrène	300	1,67	1,59	1,65

1.5.2. Dans les plantes :

D'une manière générale, les concentrations de la plupart des composées sont plus élevées que celles détectées chez le pois et le pois chiche. Le pois a des concentration plus élevées de fluorène, benzo(g-h-i)pérylène, phénanthrène et de benzo(k)fluoranthène. Le pois chiche a eu l'absorbance la plus élevée du benzène uniquement. Par ailleurs, les concentrations de tous les autres HA ont été plus faibles que celle absorbées par la fève et le pois (tableau 6).

Tableau 6 : Composition des HA dans les plants des trois espèces

HAP	LO (nm)	Fève	Pois	Pois chiche
benzène	200	2,37	1,197	4
fluorène	205	2,261	2,261	1,957
benzo(g-h-i)pérylène	210	2,461	4	2,06
naphtalène	220	2,155	1,054	0,347
acénaphène	227	2,378	1,483	0,624
acénaphylène	229	3,235	1,861	0,958
fluoranthène	236	3,87	2,279	1,276
benzo(k)fluoranthène	238	2,099	2,1	1,07
pyrène	241	2,18	2,148	1,203
phénanthrène	251	2,112	2,874	1,341
benzo(b)fluoranthène	256	2,138	1,806	1,378
chrysène	268	2,242	1,863	1,435
benzo(a)anthracène	286	2,217	2,003	1,566
dibenzo(a,h)anthracène	297	2,246	2,051	1,663
indéno(1,2,3-c,d)pyrène	300	2,266	2,062	1,682

2. Discussion :

D'après les résultats obtenus, les paramètres de végétation (hauteur des plants, longueur des racines et biomasse) ont été plus élevés chez la fève par rapport aux autres espèces. Ceci est conforme à la morphologie caractéristique de ces espèces. Des observations similaires ont été faites par Zerrouki et Ouhedda (2013) sur ces trois espèces. Selon Zohra et Hopf (1988), le pois chiche est une plante annuelle qui peut atteindre 80cm de hauteur (ITCMI, 2018). Le cycle végétatif de la fève s'étend sur 120 jours, et les plantes d'une hauteur de 1m (CRSTRA, 2021)

Par ailleurs, aucune différence significative n'a été observée entre les trois espèces en ce qui concerne la teneur relative en eau (RWC) qui indique que ces espèces ont la même réponse au stress polluant généré par les carburants. Selon Barr et Wetherley (1962), la RWC chez la plupart des plantes est de 60 à 70%. Les valeurs de la RWC observées chez les trois espèces testées auraient pu être affectées par la présence d'un stress créé par les hydrocarbures. En effet, Sharma et al. (2017) ont noté que la RWC peut passer de près de 85% à environ 65% en cas de pollution.

Les résultats de l'observation des coupes transversales des tiges et des racines des trois légumineuses ont mis en évidence l'absence des tissus secondaires chez la fève qui serait lié à un retard de croissance plus marqué que chez le pois et le pois chiche, bien que les paramètres végétatifs aient été plus importants chez cette même espèce. Chaineau et al. (1997) ont observé un retard de croissance des plantes de diverses espèces végétales.

Nous avons observé en parallèle l'absence totale de nodules sur les racines de la fève. Ceci confirme bien le retard de croissance signalé précédemment. Selon Heller (1998), l'oxygène est nécessaire à la fixation de l'azote par l'activation de la chromoprotéine (léguémoglobine) au niveau de la plante hôte. L'accumulation des hydrocarbures dans le sol aurait provoqué l'absence d'oxygène au niveau des pores qui ont été occupés par les hydrocarbures.

Concernant l'analyse des hydrocarbures dans le sol et dans les plantes, aucune différence n'a été observée pour la quantité des hydrocarbures. En revanche, des différences ont été constatées dans la composition des HA dans les sols et les plantes correspondant aux trois espèces. En effet, le pois chiche a absorbé de faibles quantités de HA par rapport aux autres espèces, hormis le benzène dont l'absorbance la plus élevée a été enregistrée chez cette espèce. Dans le sol cultivé par le pois chiche, les concentrations enregistrées pour la plupart des HA ont été faibles. Des observations similaires ont été faites pour le pois qui a absorbé en grande quantité

des HA cités dans le tableau 6.

Aussi, ces deux espèces ont pu développer des tissus secondaires ainsi que des nodules sur leurs racines comparées à la fève. Ceci attesterait du fait que les HA absorbés par ces espèces n'aient pas induit de retard de croissance. En parallèle, les HA absorbés par la fève auraient eu un effet plus marqué sur son développement.

Ainsi, nous pouvons supposer que le mécanisme mis en œuvre par la fève pour décontaminer le sol serait la phytoextraction. Selon Cardiere (2006), certaines plantes sont capables d'extraire, de transporter et de concentrer les polluants du sol dans les parties récoltables (feuilles, tiges et racines). De leur côté, Schnoor et al. (2003) ont noté que les plantes pouvaient absorber le contaminant pour le stocker.

Les mécanismes mis en œuvre par le pois et le pois chiche seraient la phytostimulation ou la phytovolatilisation, d'autant plus que les microorganismes de la rhizosphère aient pu se développer à l'instar des Rhizobia. D'après Schnoor et al. (2003), les plantes peuvent métaboliser les polluants dans leurs tissus. Selon ces mêmes auteurs, in Salmi et Salmi (2017), plus les racines sont abondantes plus elles fournissent une surface de développement importante pour 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

Conclusion

Pour bien mettre en évidence le comportement différentiel de trois espèces de légumineuses (la fève, le pois et le pois chiche), quelques paramètres de la croissance et du développement ont été étudiés sur un sol provenant d'une station-service, pollué par les carburants. Aussi une analyse quantitative et qualitative des hydrocarbures a été entreprise.

Au regard de ces résultats, nous nous apercevons que la toxicité des hydrocarbures est différente d'une espèce à l'autre. La fève a montré une meilleure croissance avec les biomasses végétales, aérienne et racinaire les plus élevées par rapport au pois et au pois chiche.

Par ailleurs, les valeurs de la RWC chez les trois espèces étaient proches ; ce qui indique que ces espèces ont eu la même réaction vis-à-vis du stress polluant.

L'observation des coupes transversales des tiges et des racines a fait ressortir l'absence des tissus secondaires chez la fève témoignant d'un retard de développement chez cette espèce en comparaison avec les deux autres.

La quantité d'hydrocarbures totaux a été plus élevée dans le sol cultivé en fève par rapport aux sols cultivés par le pois et le pois chiche. En revanche, aucune différence significative n'a été observée entre les concentrations des hydrocarbures totaux dans les plants des trois légumineuses. Des différences ont été toutefois observées dans la composition des hydrocarbures aromatiques.

En effet, l'analyse des sols a révélé des absorbances élevées pour les composés tels que le benzo(k)anthracène, le pyrène et le phénanthrène, particulièrement dans le sol cultivé par la fève. Toutefois, le benzène et le fluorène n'ont pas été détectés dans aucun des échantillons. Lessols cultivés par le pois et le pois chiche ont montré des absorbances plus faibles pour la plupart des hydrocarbures aromatiques, à l'exception de l'acénaphène et du fluoranthène dans le pois, et du benzo(g-h-i) pérylène dans le pois chiche.

Ces résultats indiquent que le pois et le pois chiche ont une capacité supérieure à décontaminer les sols contaminés par les hydrocarbures, en comparaison avec la fève. Le pois a absorbé des quantités plus élevées de fluorène, benzo(g-h-i) pérylène, phénanthrène et benzo(k)fluoranthène, tandis que le pois chiche a principalement absorbé le benzène. Globalement, les concentrations de la plupart des composés étaient plus élevées dans le sol cultivé par la fève.

Enfin, nous proposons les perspectives suivantes :

- L'exploitation de différentes variétés de pois, pois chiche et fève, et même d'autres

Conclusion

espèces de légumineuses qui pourrait révéler des capacités de décontamination des sols encore plus élevées.

- L'étude des interactions entre les légumineuses et les micro-organismes du sol notamment les bactéries et les champignons symbiotiques.
- La caractérisation des hydrocarbures aromatiques dans le sol avant la culture pour mettre en évidence une éventuelle modification de leur composition indiquant l'apparition de métabolite et la disparition de certains constituants initiaux du sol.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- Ballerini D., Lemarchand JL., 2007.** Le plein de biocarburants ? Enjeux et réalité. Edition Technip. 237p.
- Barr H.D., Weatherley P.E., 1962.** A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficit in leaves. Aust. J. Biol. Sci. 15. pp : 413-428.
- Bliefert C., Perraud R., 2001.** Chimie de l'environnement (Aie, Eau, Sol, Déchet). 1^{ère} Edition. De Boeck. 477p.
- Bouزيد S., 2018.** Cours De Biologie Végétale. Polycopié Université des Frères Mentouri, Constantine I. pp : 6-17.
- Brunet J., 2008.** Adaptation aux métaux lourds d'une Fabacée (légumineuse) : Réponses phénologique et moléculaire au plomb du *Lathyrus sativus* L. Thèse de doctorat. Université Paris-Est. 231p.
- Cadiere F., 2006.** Traitement biologique des sols pollués : recherche et innovation. Etude réalisée pour le compte de l'ADEME par l'ADIT- société nationale d'intelligence stratégique. Département sites et sols pollués. Direction Déchets et sols-ADEME (Angers). 92p.
- Chianeau CH., Morel JL., Oudot J., 1997.** Phytotoxicity and plant Uptake of Fuel Oil Hydrocarbons. J. Environ. Qual. 26. pp : 1478-1483.
- Chianeau CH., Morel JL., Oudot J., 1996.** Land treatment of oil-based drill cutting in an agricultural soil. J. Environ. Qual. 25. pp : 858-867.
- Camuzard JP., 2004.** Le sol, un milieu complexe au pouvoir épurateur limité. Edition Engref. Paris. 13p.
- Choux C., Foury C., 1994.** Production légumière, tome 3, légumineuses potagères, légumes fruits. Edition Lavoisier. Paris. pp : 3-8.
- Clément JM., 1994.** Le technicien d'agriculture tropicale-Les cultures maraîchères. Librairie Larousse. 191p.
- Colin F., 2000.** Pollution localisée des sols et sous-sols par les hydrocarbures et par les solvants chlorés. Edition Tec et Doc. 417 p.
- Colombano S., Saada A., Guerin V., Battaillard P., Bellefant G., Beranger S., Hube D., Blanc C., Zoring C., Girardeau I., 2010.** Quelles techniques pour quels traitements. Analyse-Coût-Bénéfices. Rapport final BRGM/RP-58609-FR. 399p.
- Delage P., Schrefler B., 2005.** Géomécanique environnementale des sols pollués et déchets.

Références bibliographiques

Hermes science, Lavoisier. 250p.

Dommergues Y., Mangenot F., 1970. Ecologie microbienne du sol. Edition Masson. Paris. 796p.

Doree A., 2000. Flore pastorale de montagne, légumineuses et autres plantes fourragères. Tome 2. Edition QUAE. 225p.

Duchafour P., 2001. Introduction à la science du sol : Sol, végétation et environnement. 6^{ème} Edition. Dunod. Paris. 331p.

Hnatyszyn M., et Guais A., 1988. Les fourrages et l'éleveur. Ed Lavoisier, Paris, pp : 71-73.

Guignard JL., 2000. Biochimie végétale. 2^{ème} édition. Dunod. 274p.

Gorenflot R., 1992. Biologie végétale, plantes supérieurs, appareil reproducteur. 3^{ème} édition. Masson. p169.

Grillot G., 1954. Les fourrages légumineux au Maroc. Service de la recherche Agronomique. Rabat, pp : 8-15.

Heller R., 1998. Physiologie végétale. Nutrition. 6^{ème} Edition. Dunod. Paris. 323p.

Henner P., Schiavon M., Druelle V., Lichtfouse E., 1999. Phytotoxicity of ancient gaswork soils. Effect of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) on plant germination. Organic Geochemistry. 30. pp : 963-969.

Lallemand J., Macheix J, Fleuriet A., 2005. Les composés phénoliques des végétaux. Presses polytechniques et universitaires romands. CH-1015. Lausanne. 192 p.

Laurent F., Crepineau C., Rychien G., Feidet C., Le Roux Y., Lichtfousse E., 2005. Contamination of pastures by polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the vicinity of a highway. J. of Agricultural and food Chemistry. 51. pp : 4841-4845.

Mauseth JD., 1991. Botany, An introduction to plant biology. 3^{ème} édition. Saunders College Pub. 800p.

Marshall R., Penet S., Solano-Serena SF., Vandecasteele JP., 2003. Gasoline and diesel OILBiodegradation. Oil and Gas Science and Technology-Revue IFR. 58 (4). pp : 441-448.

Oukaci M., Lekadir F., 2014. Effet de la contamination du sol par les carburants (essence normale, essence super, gasoil) sur la croissance de la nodulation du pois (*Pisum Sativum L.*). Mémoire D.E.S en biologie et physiologie végétale. UMMTO. 38p.

Piedrafita MV., Carnicer M., 2007. La pollution ponctuelle des sols Editions Universitaires Européennes. 192p.

Ramade R., 1992. Précis d'écotoxicologie. Edition Masson. Paris. 300 p.

Références bibliographiques

Ramade F., 2002. Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement. 2ème édition. Dunod Paris. 456p.

Ramade F., 2005. Eléments d'écologie-écologie appliquée. Edition Dunod. 862 p.

Rouquerol T., Amir H., Amir H., 1987. Effet de l'épandage de résidus pétroliers de raffinerie sur l'évolution de la matière organique et l'activité de densité microbienne d'un sol agricole. Revue d'écologie et de biologie du sol. 24 (2). pp : 137-156.

Saada A., Nowak C., Coquereau N., 2005. Etat des connaissances sur l'atténuation naturelle des hydrocarbures. Rapport intermédiaire. Résultats de la phase 1. Rapport du BRGM/RP-53739-FR. 107p.

Schnoor JL., Cutcheron SC., 2003. Phytoremediation-Transformation and control of contaminants. Wiley interscience. INC. USA. 987p.

Sharma B., Sharma S., Bhardwaj SK. 2017. Effect of pollution on relative water content in temperate species growing along national highway 5 in himachal pradesh. September 2017 Conference : IEEE Forum International Conference At New Delhi.

Slimani M., 2015. Effet du pétrole brut sur la croissance et la nodulation de la fève (*Vicia faba* L.), le pois (*Pisum sativum* L.) et la luzerne (*Medicago sativa* L.). Mémoire de Master. UMMTO. 58p.

Smain H., 2017. Méthode d'Analyse Spectroscopiques en Chimie Organique UV- Visible, IR, RMN et Spectroscopie de masse. Office des Publications Universitaires. 131p.

Soltani M., 2004. Distribution lipidique et voies métaboliques chez quatre bactéries Gram négatives hydrocarbonoclastes. Variation en fonction de la source de carbone. Thèse de Doctorat. Université Paris 6. 284p.

United States Environmental Protection Agency, USEPA. 2000. Electrokinetic and Phytoremediation in Situ Treatment of Metal-Contaminated Soil: State-of-the-Practice. Draft for Final Review. EPA/542/R-00/XXX. US Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste and Emergency Response Technology Innovation Office, Washington DC.

Zerrouki R., Ouهدda M., 2013. Phytotoxicité des hydrocarbures vis-à-vis de la luzerne, du pois et de la fève. Mémoire d'Ingénieur d'Etat. Université Mouloud Mammeri. Tizi-Ouzou. 56 p.

Références bibliographiques

Sites internet

<http://planet-vie.ens.fr>

<http://aquaportail.com>

<https://www.geo.fr/environnement/hydrocarbure>

<https://www.alcor-contrôles.fr/pollution-des-sols-cas-particulier-des-stations-service/>

<http://pharmtox.free.fr/pharmacie/chimie/poly/Hydrocarbures.htm>