

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

Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou
Faculté des Sciences Biologiques et Agronomiques

Département de Biologie Animale et Végétale

Mémoire

De fin d'études

Envue de l'obtention du diplôme de master en biologie
Spécialité : Protection de l'Environnement

Thème

**Effet des carburants (essence, gasoil) sur
la croissance et la nodulation de la fève
(*Vicia faba* L.), pois (*Pisum sativum* L.)
et la luzerne (*Médicago sativa* L.)**

Présenté par :

M^{lle} MAMERI Djedjiga

M^{lle} MOUSSAOUI Thinhinane

Devant le jury :

Présidente : M^{me} TALEB K.

M C B à l'U.M.M.T.O

Promotrice: M^{lle} ALI AHMED S.

M AA à l'U.M.M.T.O

Examinatrice: M^{me} LAMRI T.

M AA à l'U.M .M.T.O

Examinatrice : M^{lle} BACHI K.

Doctorante l'U.M.M.T.O

Promotion 2014 / 2015

Remerciements

En premier, nous remercions le bon Dieu le tout puissant de nous avoir donné santé, patience et courage pour mener à terme ce modeste travail ;

Notre promotrice M^{elle} ALI AHMED., maître assistante au département de biologie à L'UMMTO pour ses précieuses orientations, son aide et ses conseils judicieux, son soutien, ses encouragements et son souci de mener à terme ce travail.

Nous remercions aussi très sincèrement les membres de jury la présidente

M^{me} TALEB K, maître de conférence au département de biologie à L'UMMTO d'avoir accepté de présider le jury et les examinatrices M^{elle} BACHI K., doctorante au département de biologie à L'UMMTO et M^{me} LAMRI., maître assistante au département de biologie à L'UMMTO d'avoir bien voulu accepté d'évaluer notre travail ;

Nous voudrions aussi témoigner notre reconnaissance et exprimer toute notre gratitude à nos enseignants qui ont participé pour une grande part dans notre formation ;

Enfin, nous adressons un grand merci à nos familles, et toutes personnes ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail à mes très chers parents pour leurs soutiens
moral et matériel.*

*Tout au long de mes études, que Dieu les protège et leur accorde une
longue vie pleine de bonheur et de santé.*

A mes très chers frères et sœurs.

A mes chers neveux et nièces.

*A mon ami Thinhinane avec qui j'ai partagé ce travail et toute sa
famille.*

A tous mes amis(es), et ceux qui m'aiment.

A toute la promotion de protection de l'environnement.

MAMERI DJEDJIGA

Dédicaces

Je dédie ce travail

Au deux qui se battus pour rayonner mon chemin, mes très chers parents les prunelles de mes yeux, pour leur soutien, l'amour qu'ils n'arrêtent pas de m'offrir depuis ma naissance et que dieu tout puissant me les garde et j'espère qu'un jour je serai capable de leur donner au moins le minimum car quoiqu'on face on arrivera jamais à leur rendre tout.

A mon très cher fiancé qui était toujours à mes côtés et qui n'a jamais cessé de me soutenir et de m'encourager.

A mes deux très chers frères à qui je souhaite le succès dans leurs vies.

A tous mes cousins (es), tantes et oncles et leurs enfants.

A mon ami Djedjiga avec qui j'ai partagé ce travail et toute sa famille.

A tous mes amis(es), et ceux qui m'aiment.

A toute la promotion de protection de l'environnement.

MOUSSAOUI THINHINANE

Liste des abréviations

C : contamination

Carb : carburent

CE : conductivité électrique

Con : concentration

E : Essence

F : Fève.

G : Gasoil

HAP : Hydrocarbures aromatiques polycycliques

ITMA : Institut Technologique Moyen Agricole.

L : Luzerne.

NC : non contaminé

P : Pois.

Pr: probabilités

sp : espèce

Liste des figures

Figure 1 : Mécanismes de transport des hydrocarbures après un déversement à la surface du sol	7
Figure 2 : Etapes de la formation d'un nodule racinaire chez une légumineuse infectée par rhizobia.....	14
Figure 3 : La fève (<i>Vicia faba</i> L.)	18
Figure 4 : Le pois (<i>Pisumsativum</i> L.).....	20
Figure 5 : La luzerne (<i>Medicago sativa</i> L.).....	21
Figure 6 : Schéma du dispositif expérimental	23
Figure 7 : Taux de levée de la fève (a), du pois (b) et de la luzerne (c) cultivés sur un sol différemment contaminé par l'essence et le gasoil	30
Figure 8 : Hauteur de la fève (a), du pois (b) et de la luzerne (c) cultivés sur un sol différemment contaminé par l'essence.....	32
Figure 9: Hauteur de la fève (d), du pois (e) et de la luzerne (f) cultivés sur un sol différemment contaminé par le gasoil	34
Figure 10: Nombre de feuilles par plant de la fève (a), du pois (b) et de la luzerne (c) cultivés sur un sol différemment contaminé par l'essence et le gasoil.....	36
Figure 11 : longueur de la racine principale de la fève (a), du pois (b) et de la luzerne (c) cultivés sur un sol différemment contaminé par l'essence et le gasoil	38
Figure 12 : Volume racinaire des plants de la fève (a), du pois (b) et de la luzerne (c) cultivés sur un sol différemment contaminé par l'essence et le gasoil.....	39
Figure 13: La biomasse aérienne de la fève (a), du pois (b) et de la luzerne (c) cultivés sur un sol différemment contaminé par l'essence et le gasoil.....	41
Figure 14 : La biomasse racinaire de la fève (a), du pois (b) et de la luzerne (c) cultivés sur un sol différemment contaminé par l'essence et le gasoil.....	42
Figure 15 : le nombre de nodule de la fève (a), du pois (b) et de la luzerne (c) cultivés sur un sol différemment contaminé par l'essence et le gasoil.....	44
Figure 16 : pH du sol différemment contaminé (a) par l'essence (b) par le gasoil	45
Figure 17 : la conductivité électrique du sol différemment contaminé ; (a) par l'essence (b) par legasoil	46

Liste des tableaux

Tableau I : Caractéristiques chimiques de l'échantillon du sol de l'ITMA.....	23
--	----

Sommaire

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre I : Synthèse bibliographique

I -1- Généralité et origines des hydrocarbures	3
I -2- Classification des hydrocarbures	3
I -3- Les produit raffinés	4
I -4- Sources des hydrocarbures dans les sols.....	5
II-1Contamination des sols par les hydrocarbures.....	6
II-2Devenir des hydrocarbures dans le sol	6
II-3Effets des hydrocarbures sur le végétal	8
II-4Effets des hydrocarbures sur l'environnement	8
II-5Effets des hydrocarbures vis-à-vis de l'homme.....	9
III-1 Généralité sur les légumineuses	9
III-2 Nutrition en azote	11
III-3La fixation symbiotique de l'azote.....	11
III-4Les bactéries du genre Rhizobium	12
III-5La symbiose rhizobium-légumineuse	12
III-6-1Caractère morphologiques et développement des nodosités	12
III-6-2La formation et la structure des nodules	13
III-7les facteurs agissant sur la fixation symbiotique.....	15
III-7-1Facteurs internes	15
III-7-2Facteur externe.....	15

Sommaire

Chapitre II : Matériels et méthodes

Introduction	18
1. Matériel.....	18
1.1 Matériel biologique	18
1.1.1 La Fève	18
1.1.1.1 Classification botanique	19
1.1.1.2 Caractéristiques morphologiques	19
1.1.1.3 Exigence climatiques et édaphiques	19
1.1.2 La Pois	20
1.1.2.1 Classification botanique	20
1.1.2.2 Caractéristiques morphologiques	21
1.1.2.3 Exigence climatiques et édaphiques	21
1.1.3 La Luzerne	21
1.1.3.1 Classification botanique	22
1.1.3.2 Caractéristiques morphologiques	22
1.1.3.3 Exigence climatiques et édaphiques	22
1.2. Le sol	22
1.3. Les hydrocarbures	23
1.3.1. L'essence	24
1.3.1. Le gasoil	24
2. Méthodes	24
2.1. Dispositif expérimental	24
2.1.1. Contamination du sol	24
2.1.2. Mise en place de l'essai.....	25
2.1.3 Le suivi de la culture	26
2.1.4 La récolte	26
2.2 Effets des hydrocarbures sur les plantes.....	27

Sommaire

2.3 Effet des hydrocarbures sur quelque propriété du sol	28
2.1.5 Méthodes d'analyses statistiques.....	29

Chapitre III : Résultats et discussions

I-Résultats	30
1 Effets des carburants sur le végétal	30
I-1-1Taux de levé	30
I-1-2Hauteur des plants	32
I -1-3Nombre de feuille.....	36
I -1-4La longueur racinaire	38
I-1-5Volume racinaire	39
I-1-6Biomasse aérienne.....	41
I-1-7Biomasse racinaire	42
I-1-8Nombre de nodule	44
I-2 Le pH de sol.....	45
I-3 La conductivité électrique	46
II-Discussion	47
Conclusion générale	52
Références bibliographiques	
Annexes	

Introduction générale

Introduction générale

L'exploitation des gisements de pétrole n'a cessé d'augmenter ces dernières années, et ceci grâce au rôle stratégique et politique que le pétrole joue sur la scène mondiale (Soltani, 2004).

Le secteur des hydrocarbures constitue le pivot de l'économie nationale, une énergie qui, de par les bienfaits qu'elle apporte aux citoyens et au développement du pays, continue à causer de sérieuses et préoccupantes menaces sur notre environnement qui ne cesse d'être pollué à l'échelle de tous ses compartiments : l'eau, l'air et le sol (Tandjiret Djebbar, 2004).

La connaissance des risques environnementaux liés à la production des hydrocarbures est impérative pour faire face aux pollutions engendrées par ces derniers. Parmi les pollutions les plus spectaculaires générées figurent les déversements des fluides pétroliers tels que le pétrole brut, le gasoil, le fuel, l'essence et le kérosène (Lecomte, 1998).

Les stations services, lieux de stockage et de manipulation des produits dangereux, peuvent être à l'origine d'accidents ou de pollutions du sol et de l'environnement. Leur très large répartition sur le territoire national est due à la production de l'énergie.

D'après l'Académie des Sciences (2000), les carburants diffèrent selon leur densité, le nombre d'atomes de carbone et la température d'ébullition. On distingue les essences, le gasoil, les huiles et résidus, ainsi que les solvants organochlorés. La station service est le lieu qui sert à l'infiltration de ces polluants dans le sol, qui auront un impact différent sur les nappes phréatiques et sur la flore (Delage et Schrefler, 2005).

Cette pollution présente des risques pour les êtres vivants par l'exposition directe aux polluants ou indirecte via l'eau, l'air, les sédiments et le sol.

La présence des hydrocarbures dans le sol peut se répercuter directement sur le couvert végétal. On appelle « phytotoxicité par les hydrocarbures », l'inhibition du développement de certains végétaux, l'inhibition de la germination des graines et /ou de la croissance végétative.

Tous les travaux réalisés récemment sur les effets des carburants sur la fève, le pois et la luzerne n'ont pris en compte que la concentration de 5% (Alilouche et Toudouft, 2014 ; Ammar khodja et Belgaid, 2014 ; Lokadir et Oukaci, 2014). Aucun travail n'a été effectué sur les différentes concentrations de carburants.

Introduction générale

C'est dans ce contexte que s'inscrit notre étude dont l'objectif principal est d'évaluer l'effet de la concentration en carburants vis-à-vis de trois espèces végétales, la fève, la pois et la luzerne, appartenant à la famille des légumineuses et qui sont réputées pour leur tolérance vis-à-vis des hydrocarbures et d'évaluer leur éventuelle résistance à cette pollution, ceci en vue de les utiliser en phytoremédiation.

Le présent travail se subdivise en trois chapitres. Le premier consiste en un rappel bibliographique sur les hydrocarbures et sur les légumineuses et leur capacité de fixation symbiotique. Le second rapporte les matériels utilisés et les méthodes adoptées dans notre expérimentation. Dans le troisième et dernier chapitre, nous exposerons les résultats obtenus ainsi que leur discussion.

Nous terminons ce travail par une conclusion générale et quelques perspectives.

Chapitre I
Synthèse
bibliographique

Synthèse bibliographique

I -1- Généralités et origine des hydrocarbures.

Les hydrocarbures sont d'origine organique, se forment à partir de débris d'algues, de résidus de la faune marine et de plancton. Le vieillissement, la température et la pression (qui s'exerce sur les fonds marins) transforment cette substance organique en hydrocarbures (Battaz, 2009).

Les hydrocarbures sont les composés organiques les plus simples, constitués de carbone et d'hydrogène. Les hydrocarbures, ou huiles minérales regroupent différents produits pétroliers (pétrole brut, pétrole raffiné, kérosène, essences, fuels, lubrifiants, huiles à moteurs) (Lumière et *al.*, 2001).

Ils présentent une grande importance commerciale. Ils sont utilisés comme carburants, combustibles, huiles lubrifiantes et produits de base en synthèse pétrochimique (Fattal, 2008).

I.2 Classification des hydrocarbures

Selon l'architecture de la liaison entre les atomes de carbone et d'hydrogène, trois familles sont à distinguer:

I-2 -1 Les hydrocarbures aliphatiques

Ce sont des molécules linéaires ou ramifiées à longue chaîne, saturés (alcane) ou insaturés (alcène ou alcyne), et substitués ou non (Arnaud, 2004).

I-2 -2 Les hydrocarbures cycliques

Sont des composés dont la chaîne carbonée se referme sur elle-même (ex : les cyclohexanes) (Frederic et *al.*, 2010).

I-2 -3 Les hydrocarbures aromatiques

Ce sont des composés qui contiennent au moins un noyau benzénique dans leur molécule.

Synthèse bibliographique

I-2-3-1 Les hydrocarbures aromatiques monocycliques (HAM)

Les hydrocarbures aromatique volatile constituent une famille de composés contenant un cycle benzénique C_6 sur lequel se lié une grande variété de radicaux (Lemière et *al.*, 2001).

I-2-3-2 Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

Ce sont les molécules qui contiennent au moins deux cycles aromatiques fusionnés. Ce sont des composés très persistantes et ont un effet toxique sur les organismes vivants et sur la santé humaine (Christran, 2006).

I-3 Les produits raffinés

Les produits raffinés sont issus du raffinage du pétrole qui désigne l'ensemble de traitements et de transformations (physiques, chimiques) visant à tirer le maximum de produits à haute valeur commerciale. La modification de la formule chimique du pétrole, aboutit essentiellement, à des produits lourds (fuel-oil, bitume), des distillats (gasoil) et des produits légers (essence) (Begbeg, 2008).

I-3-1 L'essence

Selon Saada et *al.* (2004), l'essence c'est un carburant qui a formé par distillation de pétrole, il est constitué d'un mélange de plus de 230 hydrocarbures différents, dont le nombre d'atome de carbone varie entre 4 et 10. Qui sont distillés entre 30-35°C et 180-200°C. Ce dernier a une densité entre 0,72-0,77 et un rapport H/C entre 1,7 et 1,9. Ce dernier est destiné aux moteurs à allumage commandé.

Les essences sont composées de 5 classe principales d'hydrocarbures : n-alcanes, isoalcanes, cycloalcanes, les alcènes et les aromatiques. Les aromatiques sont majoritairement présent.

I-3-2 Le gasoil

Selon Saada et *al.* (2004), Le gasoil est un produit jaune clair, légèrement visqueux et distillant généralement entre 190°C et 300°C. Il est utilisé comme combustible dans les moteurs Diesel.

Synthèse bibliographique

Les gazoles contiennent 2000 à 4000 hydrocarbures différents, dont le nombre d'atome de carbone varie entre 11 et 25. Avec une densité de 0,82 à 0,86. Les gazoles sont donc plus lourds que les essences et sont composés de produit moins volatils. Ils ne contiennent pas d'alcène et sont majoritairement constitué de n-alcane et de cycloalcanes.

I -4- Sources des hydrocarbures dans les sols

Colin (2000) précise que les activités humaines sont à l'origine de nombreuses contaminations localisées ou diffuses au niveau des sols et sous-sols.

I -4-1 Les activités industrielles

Ces différentes activités dues à :

- des accidents, incidents ou anomalies divers, lors de l'extraction, du stockage, de la transformation et du transport de matière premières, de produits dangereux ;
- des dépôts de déchets sur les sites en activités ou en dehors de ces sites ;
- la démolition d'installation contenant des produits ou déchets dangereux.

I -4-2 Les activités urbaines

- en rapports avec les activités artisanales ou commerciales utilisant ou engendrant des produits et déchets dangereux au même titre que les activités industrielles ;
- par les retombés atmosphériques de nombreuses sources de pollution atmosphérique...

I -4-3 Les activités militaires

- analogues à celle d'industries ou de villes.
- spécifiques de l'armement (gestion des munitions et des armes ...).

I -4-4 Les activités agricoles

- épandage de déchets ou de produits dérivés en agriculture ; les activités d'élevage...

II-1 Contamination des sols par les hydrocarbures

Selon Faccendini (1995), la contamination du sol par les hydrocarbures occupe une position particulière en raison de la toxicité et de l'effet cancérogène de certains d'entre eux, ainsi que les 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.

II -2 Comportement et Devenir des hydrocarbures dans le sol

Parmi les différentes altérations que peut subir un hydrocarbure, on citera :

Volatilisation

La volatilisation des contaminants permet leur transformation mais non leur disparition. Ce phénomène engendrera une baisse en concentration des polluants dans la nappe (Saada et *al.*, 2004).

Solubilisation

Un hydrocarbure est d'autant plus soluble que sa masse moléculaire est faible et que sa polarité est élevée. Il est importants 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 (Soltani, 2004).

Dégradation

C'est un processus essentiel dans la dissipation d'un produit par sa transformation, elle influe sur la persistance et les possibilités de contamination. Ce processus peut entraîner une dégradation totale du produit ou simplement former des produits intermédiaires de dégradation (Gendrault, 2004 *in* Belkadi et Issadi, 2013). Il existe deux types de dégradation à savoir :

Dégradation abiotique

La dégradation abiotique des polluants organiques dans le sol ne peut avoir lieu que pour les composés situés à moins de 1mm de la surface de sol (Hebert et *al.*, 1990 *in* Lauret et *al.*, 2005). Les HAP peuvent être dégradés par photo-oxydation, hydrolyse et par des

réactions d'oxydation. Ce mécanisme est relativement important et permet une nette diminution de leur quantité dans le sol (Lauret et *al.*, 2005 in Belkadi et Issadi, 2013).

Biodégradation

La biodégradation est le processus naturel le plus important dans la dépollution de l'environnement. Elle est due à la présence de certains Microorganismes dans les sols, tel que les bactéries et champignons (Migrain et *al.*, 1993 in Belkadi et Issadi, 2013).

La biodégradation de la matière organique est le principe de base des techniques de biodécontamination qui consistent à stimuler ce phénomène naturel pour en augmenter le rendement, et réduire en un minimum de temps le polluant organique, utilisé comme source de carbone (Battaz, 2009).

L'adsorption

La plupart des hydrocarbures présente une faible solubilité et une certaine hydrophobicité, ce qui leur permet d'être lié en proportion plus ou moins importantes aux sédiments de l'aquifère. Dans la plupart des aquifères, la fraction organique tend à contrôler la sorption des hydrocarbures pétroliers (Saada et *al.*, 2004).

Les étapes de devenir des hydrocarbures dans le sol sont résumées dans la **figure 1**.

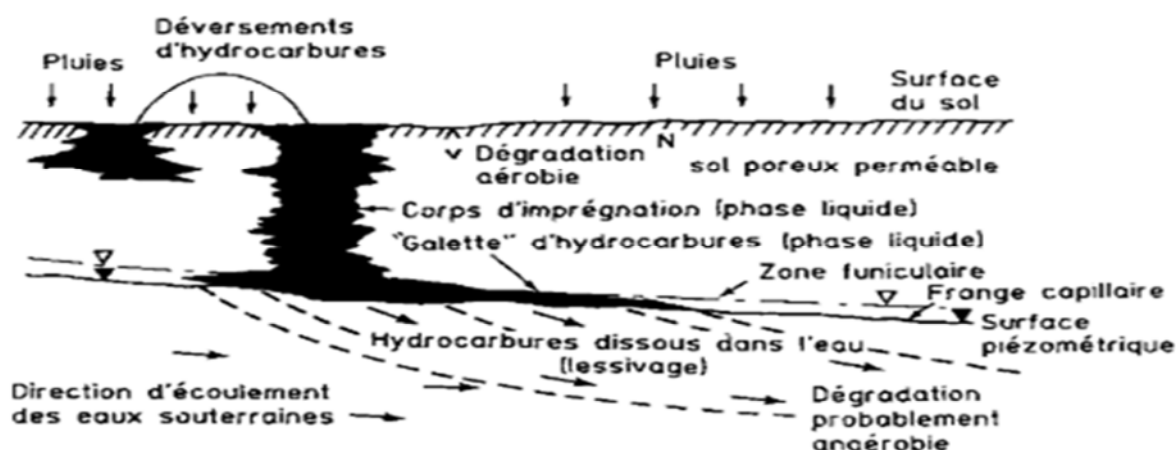


Figure1 : Mécanismes de transport des hydrocarbures après un déversement à la surface du sol (Bergue, 1986).

II -3 Effets des hydrocarbures sur le végétal

Le sol est à la fois le support et le réservoir du végétal par conséquent, la présence des hydrocarbures dans le sol peut se répercuter directement sur le végétal. Leurs impacts sont divers et ils sont généralement dus au taux de pénétration des hydrocarbures dans le sol. Il ya les hydrocarbures qui s'infiltreront et d'autres qui restent en surface (Fattal, 2008).

Les effets toxiques des hydrocarbures sur les végétaux sont très divers selon les familles, ces effets peuvent également varier en fonction de la concentration (Colin, 2000). De manière générale, l'existence et l'ampleur des méfaits des hydrocarbures varient selon :

- la nature et la structure chimique des hydrocarbures
- la concentration des hydrocarbures dans le sol ;
- l' espèce en question ;

Selon Norini (2007) les hydrocarbures inhibent le développement de certains végétaux, d'où le terme phytotoxicité des hydrocarbures. Celle-ci se manifeste par une inhibition de la germination de graines et/ou celle de la croissance végétative qui a un impact négatif sur le rendement en matière sèche.

Par ailleurs, les hydrocarbures peuvent entrer dans les graines, empêcher les réactions métaboliques et tuer l'embryon par une toxicité aigue directe. Il ya 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 (Norini, 2007).

II -4 Effets des hydrocarbures sur l'environnement

A travers l'étude de l'évolution des hydrocarbures dans les phases liquide et gazeuse du sol, on peut dire que les terrains contaminés entraînent une extension de la contamination, que ce soit par voie aérienne (entraînement des poussières contaminées et migration des vapeurs) ou souterraine (migration d'eaux contaminées), aux environs immédiats du site, où peuvent habiter des populations humaines (Fattal, 2008).

II -5 Effets des hydrocarbures vis-à-vis de l'Homme

Plusieurs études faites dans le domaine des effets de la pollution par les hydrocarbures sur la santé humaine, il a été préféré de mettre en exergue les factures de risques qui pèsent sur les populations. Ces risques sont considérés négligeables et limités, ça en absence de contact prolongé avec le polluant ou de ingestion du produit. Par contre le contact « permanent » avec des hydrocarbures lourds qui contiennent des HAP, peut provoquer sur le long terme des troubles neurologiques et neurophysiologiques (Baars, 2002).

Cet impact dépend du temps d'inhalation, du contact cutané avec les hydrocarbures et de la consommation de produits de la mer qui seraient contaminés.

Les plus touchés par ces types d'atteintes sont généralement les nettoyeurs qui inhalent les produits. La gêne occasionnée peut provoquer des manifestations telles que des céphalées, nausées, vertiges, vomissements et irritations oculaires (Fatal, 2008).

Certains HAP ont un fort pouvoir cancérogène, mutagène et ont par conséquent des effets nocifs pour la santé humaine, l'exposition chronique conduit à un effet génotoxique de ces molécules. L'exposition humaine aux HAP peut se faire via l'alimentation, par voie pulmonaire ou par voie cutanée (Norini, 2007). Les hydrocarbures cycliques provoquent des cancers tels que la leucémie et les cancers de pommons.

III-1 Généralité sur les légumineuses

Les légumineuses sont une des plus importantes familles de toutes les plantes à fleurs, et celle qui présente le plus grand nombre d'espèces utiles à l'homme (Bonnier, 2005). Elle comporte des plantes fourragères, comme la luzerne, le trèfle, et le sainfoin, des plantes ornementales comme la glycine et le robinier, un grand nombre d'espèces à intérêt alimentaire, telles que le haricot, le soja, la lentille, le pois et l'arachide, et d'autre à grande utilité dans la production de teinture, gomme comme source de roténone à usage insecticide ou molluscide et dans le commerce du bois tropicale (Allen et Allen, 1980).

Classification

Les fabacées constituent la troisième famille la plus importante du monde végétale (environ 16000 espèces) après les Astéracées et les Orchidacées. On y trouve des plantes herbacées, grimpantes, des buissonnantes et de vrais arbres. Elles peuvent être annuelles,

Synthèse bibliographique

vivaces à feuille caduques ou persistantes. La famille des Fabacées comprend trois sous familles :

- les Mimosées : véritable Acacia ou mimosas utilisées pour leurs fleurs.
- les Césalpiniées : essentiellement en contrées chaudes, sont représentées en Algérie par l'arbre de Judée et le caroubier.
- les Papilionacées : qui ont une importance économique remarquable dans l'alimentation humaine.
 - Graine amylacées : pois, haricots, fève, lentilles.
 - Graine riche en huiles végétales : arachides.
 - Graine riche en protéines : soja.

Dans la production de fourrage : luzerne, trèfle, sainfoins lotiers et dans les applications pharmaceutique de tés nombreuses préparations (baumes, gomme, sirop, insecticides) sont fait à partir de fabacées (Maire, 1985 *in* Bouchneb et Kheddache, 2007).

Exigence édaphique

Les légumineuses préfèrent de poussé sur les sols calcaires et donc ne poussent pas bien sur les sols acides. Dans le cas de sols acides, Il est nécessaire de faire un chaulage avant la culture. Il est nécessaire d'avoir un sol riche en phosphore et en potassium biodisponibles. Les légumineuses sont des plantes avec des racines profondes; elles améliorent la structure des sols et peut remonter en surface les éléments nutritifs qu'elles prélèvent des profondes des sols.

Exigence climatique

Certaines légumineuses s'adaptent mieux aux climats frais avec des périodes de froid alors que d'autres pousseront mieux dans un climat chaud et humide, comme dans les terres basses tropicales. Il existe aussi des légumineuses qui s'adaptent bien à l'extrême sécheresse et à la chaleur.

Les légumes alimentaires ont des capacités d'adaptation très différentes aux latitudes, aux températures, à la longueur des jours et à l'humidité. Certains poussent le mieux les températures sont relativement basses et les journées longues alors que d'autres croissent lorsque les températures sont élevées et que les journées durent 12 heures ou

Synthèse bibliographique

plus. C'est peut-être une des raisons pour lesquelles on trouve presque toujours une sorte de légume à cultiver, quel que soit le climat (Rienke et Joke, 2005).

III-2 Nutrition en azote

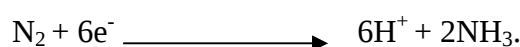
La nutrition en azote des légumineuses est d'autant plus difficile à étudier par ce que c'est le résultat de combinaison de deux voies, la fixation de l'azote atmosphérique et l'assimilation de l'azote minéral. La contribution de chacune à l'alimentation en azote des plantes varie selon les conditions de la culture et les espèces (Wery, 1987). Pour l'amélioration de la production des Légumineuses, il faut bien connaître les relations qui existent entre l'assimilation et la fixation de l'azote, et aussi l'influence des facteurs du milieu et des techniques culturales sur ces deux voies (Mokhtar et al, 2009).

III-3 La fixation symbiotique de l'azote

La fixation de l'azote atmosphérique (N₂) se fait par plusieurs mécanismes dont le plus important et le plus connu est la fixation biologique par des micro-organismes. (Haynes, 1986 ; Stevenson, 1984 in Boubié, 2002).

Les bactéries de la famille des *rhizobiacées* en général, et celles du genre *Rhizobium* peuvent infecter les racines des légumineuses entraînant la formation de nodules appelés nodosités. Par ces nodules, la plante hôte (la légumineuse) offre un micro habitat exceptionnellement favorable à la bactérie tout en lui procurant des substrats carbonés provenant de la photosynthèse. En retour, la bactérie fixe l'azote atmosphérique (N₂) et le fournit à la plante hôte sous forme assimilable NH₃ (Dommergues et al., 1999 in Boubié, 2002). Cette association à bénéfice réciproque entre la légumineuse et les bactéries est appelée symbiose permettant une fixation symbiotique de l'azote de l'atmosphère.

Le processus de la fixation consiste en la réduction de l'azote atmosphérique N₂ sous forme ammoniacale selon la réaction suivante (Dommergues et al., 1999 in Boubié, 2002).



Cette réaction de fixation de N₂ est catalysée par un complexe enzymatique appelée

Synthèse bibliographique

nitrogénase (Dixon et Wheeler, 1986 in Boubié, 2002).

La fixation biologique de l'azote représente environ 180 millions de tonnes d'azote fixé par an ; elle est réalisée uniquement par certains microorganismes procaryotes.

L'emploi d'engrais représente 30 pourcent de la « note énergétique » en agriculture moderne.

III-4 Les bactéries du genre *Rhizobium*

Rhizobium est responsable de la fixation biologique naturelle avec 40 % en association avec les légumineuses, ces bactéries infectent les racines des légumineuses où il y a la différenciation de structure qui sont appelées les nodules (Dakar et al., 1986).

III-5 La symbiose rhizobium-légumineuse

Les symbioses rhizobia-légumineuse sont des associations bénéfiques réciproques entre une plante et un micro-organisme. La symbiose rhizobienne consiste en l'association de bactéries du genre *Rhizobium* et les racines des légumineuses suite à des mécanismes complexes de reconnaissance entre les deux organismes. Cette association forme des nodosités sur les racines à l'intérieur desquels la bactérie se différencie en bactéroïde capable de fixer l'azote atmosphérique. Certaines bactéries du genre *Rhizobium* ont la propriété de fixer l'azote atmosphérique (N₂) et couvrent entre 40 et 80% de ses besoins (Walter, 2005). L'établissement et le fonctionnement de la symbiose sont sous le contrôle génétique de chacun des deux partenaires (Gage, 2004).

III-6-1 Caractères morphologiques et développement des nodosités

La forme extérieure, la dimension et la couleur des nodosités, varient avec le genre des légumineuses, généralement sont voisines pour les espèces qui appartiennent à un même genre.

Les nodosités commencent à apparaître dès le développement des premières feuilles : elles commencent à être visibles dès l'âge d'une semaine pour les espèces qui ont une croissance rapide (exemple : *Crotalaria*, *Pueraria*), et à plusieurs semaines pour les espèces ligneuses. Ces nodosités continuent à se former durant toute la période de végétation d'une plante. Sur les plantes cultivées artificiellement, inoculées et alimentées par une solution nutritive sans azote, on peut observer des nodosités jeunes actives au début de la phase de fructification. Après de nombreuses nodosités en voie de dégénérescence; le contenu verdit puis noircit, puis la nodosité se vide en pleine terre, à la fin finit par disparaître, mais dans le milieu artificiel les nodosités vides restent plus longtemps.

Synthèse bibliographique

Les conditions saisonnières a un effet important dans l'évolution des nodosités : dans la saison sèche, on trouve très peu de nodosités sont peu nombreuse sur les plantes cultivés (Yves, 1974).

III-6-2La formation et la structure des nodules

La formation des nodules chez les plantes légumineuses est un mécanisme très complexe elle contient plusieurs étapes d'après Quispel (1958) :

- formation de foyers d'infection au niveau des racines.
- contact fortuit entre les cellules infectées et ces foyers préformés.
- initiation nodulaire.
- croissance des nodules.

La nodulation peut être très précoce chez les plantes jeunes et peut aussi être influencée ou perturbée par les facteurs environnementaux. La pénétration de l'endophyte causée des réactions de l'hôte et des effets morphogènes sur ce dernier, par exemple l'étranglement du noyau, l'augmentation de mitochondries, l'épaississement de la paroi cellulaire, la réduction du nombre des mésosomes et l'accroissement de la densité du cytoplasme (Diagne, 1981).

Synthèse bibliographique

Les étapes de la formation d'un nodule racinaire chez une légumineuse infectée par les rhizobia sont résumées dans la **figure 2**.

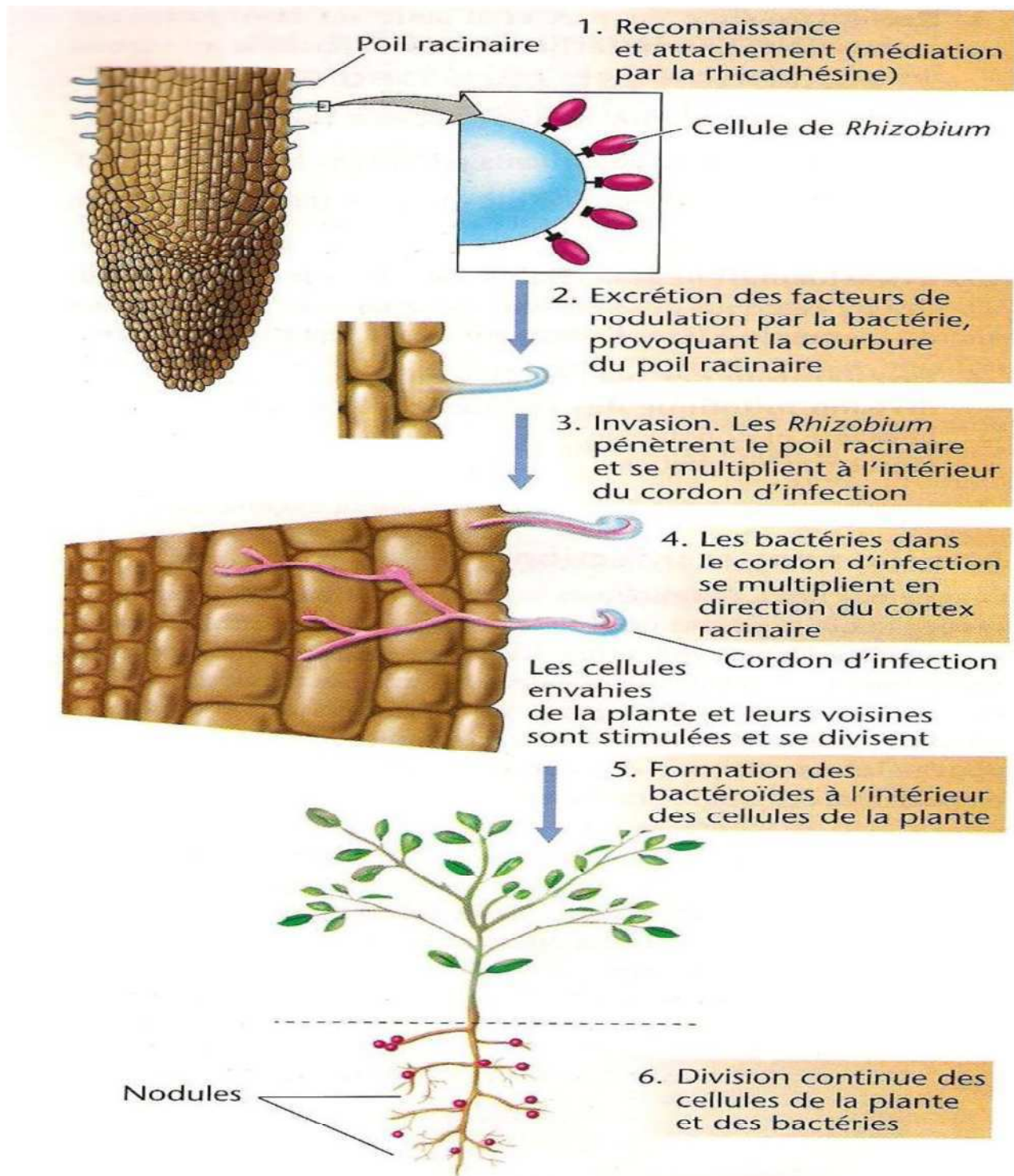


Figure 2 : Etapes de la formation d'un nodule racinaire chez une légumineuse infectée par rhizobia (Madigan et Martinko, 2007 in Mouafek, 2010).

III-7 Les facteurs agissant sur la fixation symbiotique

La fixation symbiotique peut être perturbée par des facteurs externes liés au milieu ou internes liées au *Rhizobium* et à la plante hôte.

III -7-1 Facteurs internes

La symbiose entre plante légumineuse et *Rhizobium* implique un processus de reconnaissance spécifique dont chaque espèce de *Rhizobium* ne peut infecter qu'une gamme bien précise des espèces de légumineuses, cette gamme peut être large comme chez la souche «*Rhizobium sp. NGR234* », et peut être très étroite comme chez la souche «*Sinorhizobium meliloti*» qui ne sont pas actives que sur les racines de la luzerne (François et *al.*, 1997 in Moufek,2010).

De nombreux travaux récents sur la symbiose végétale démontrent que la fixation symbiotique ne peut s'exprimer que si le *Rhizobium* présente un grand pouvoir d'infectivité des racines et aussi génétiquement compatible avec sa plante hôte.

III -7-2 Les facteurs externes

- **La température**

D'après Wery (1987) in Moufek (2010), les extrêmes de températures affectent sérieusement la fixation d'azote et l'infection racinaire. Selon une expérience faite sur l'effet de la température sur la fixation et l'assimilation de l'azote chez le pois chiche, l'activité nitratre réductase, l'activité réductrice d'acétylène ainsi que la teneur en nitratre du pois chiche sont sensible à l'action directe de la température. En effet des plants de pois chiche soumis à des températures extrêmes développent une ARA faible, par contre des températures moyenne de l'ordre de 25°C semblent favoriser cette activité (kichou et *al.*, 2001).

- **La lumière**

Il existe une relation entre l'intensité lumineuse, la photosynthèse, la nodulation et la fixation. La lumière intervient indirectement sur la fixation de l'azote. En effet, l'éclairement accroît à la fois le nombre de nodules et la fixation d'azote (Lawn et *al.*, 1974 in Moufek,2010).

- **L'eau**

Le déficit hydrique provoque une diminution du pois frais, du nombre des nodules et de l'ARA(Chebouti et *al.*, 2000 in Moufek,2010),démontrent que les gros nodules sont capables de mieux

Synthèse bibliographique

résister au déficit hydrique et maintenir une bonne activité nitrogénase que les petits nodules et cela est dû à la présence d'un parenchyme cortical plus épais qui empêche ou réduit leur déshydratation.

- **La salinité**

C'est un facteur qui limite la fixation symbiotique de l'azote. Elle perturbe d'une manière délétère la croissance et la persistance des souches rhizobiennes dans le sol. Pour les plantes légumineuses (engrais) leurs effets délétères ne s'exercent pas uniquement sur la plante hôte, mais a aussi un impact sur la croissance et la survie du *Rhizobium* du sol (Singlton et *al.*, 1982 in Moufek,2010), sur le fonctionnement et le développement des nodosités, donc a un effet sur la capacité de la fixation d'azote, dans ces conditions. La survie et la croissance des légumineuses sont liées à des processus adaptatifs qui impliquent le transport et la compartimentation des ions, la biosynthèse et l'accumulation d'osmolytes organiques participant à l'ajustement osmotique et à des remaniements protéiques nécessaires au maintien.

- **Le pH**

Selon Dommergues et *al.*, (1970), l'acidité peut provoquer une mauvaise assimilation des éléments minéraux à cause de la toxicité manganique et une diminution de l'absorption de calcium et de molybdène. Le pH neutre ou légèrement alcalin semble donc être plus favorable au phénomène de la nodulation et de la fixation de l'azote. Lorsque la plante est nodulée, la fixation d'azote elle-même est peu sensible au pH, car la plante renferme un système efficace de régulation interne du pH.

- **L'azote**

L'existence de nitrates et des ions ammoniums en abondance dans le sol inhibe la fixation symbiotique (Heler et *al.*, 2000). Lorsque le milieu nutritif est suffisamment pourvu en nitrate, les sucres sont utilisées pour la synthèse albuminoïde il n'en reste pas assez pour jouer dans les poils radiculaire un rôle attractif sur le microbe.

Ainsi, elles provoquent l'avortement du cordant d'infection lors les stades précoces d'initiation qui va entraîner une diminution du nombre de nodules par plante (François et *al.*, 1997 in Moufek, 2010). Toutefois, il est conseillé d'apporter une faible dose de nitrate au début du cycle de croissance des légumineuses pour couvrir l'insuffisance de la fixation d'azote liée à la mise en place progressive des nodules.

Synthèse bibliographique

- **Phosphore**

Le phosphore est un élément reconnu comme étant indispensable à la vie du monde végétal. Ceci signifie qu'en son absence le développement de toute forme de vie végétale n'est réalisable. (Labassi, 1991) *in* Moufek, 2010. Le phosphore est le deuxième élément limitant la croissance végétale (Vance *et al.*, 2000 *in* Amrane, 2011). Ainsi les nodosités constituent des puits importants pour ce dernier en lien avec le coût énergétique élevé de la fixation symbiotique de l'azote. Dans le cas des légumineuses, les plantes symbiotiques exigent plus de P que les non symbiotiques, car environ 20% du P total de la plante est assigné aux nodules (Gunawardena *et al.*, 1992 *in* Amrane, 2011). Par rapport aux autres organes végétaux, la concentration en P dans les nodules reste supérieure et moins affectée par la déficience en P dans le sol. Cependant, la biomasse nodulaire est fortement corrélée à la disponibilité en P pour les plantes (Hellsten et Huss-Danell, 2001 *in* Amrane, 2011), elle est fortement réduite sous sa déficience (Gunawardena *et al.*, 1992 *in* Amrane, 2011), notamment au niveau de la taille des nodules (Ribet et Drevon, 1995 *in* Amrane, 2011).

- **Potassium**

Les travaux de Mengel *et al.* (1974) *in* Moufek (2010) sur la fève montrent que les doses croissantes de potassium apportées à la plante augmentent significativement le nombre et le poids des nodules.

- **Les oligoéléments**

Les fixateurs d'azote ont besoins d'oligoéléments comme le fer, le cuivre, le cobalt, le molybdène et le bore (Vilain, 1997). Ces éléments sont nécessaires à des doses infiniment faibles (Soltne, 2001 *in* Moufek, 2010). Le molybdène et le fer jouent un rôle important dans le fonctionnement de la nitrogénase (Helleret *et al.* 2007 *in* Moufek, 2010).

Chapitre II

Matériels et méthodes

Notre expérience a été réalisée au niveau du laboratoire de pathologie des écosystèmes de la faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

Elle a consisté en une culture en pot de 03 espèces de légumineuses sur un sol contaminé aux hydrocarbures à différentes concentrations.

1. Matériel

1.1. Matériel biologique

Pour la réalisation de notre étude, trois espèces végétales différentes ont été utilisées à savoir la fève, le pois et la luzerne qui appartiennent toutes à la famille des Légumineuses, pour leur résistance à la pollution du sol par les hydrocarbures. Selon Duchauffour (2001), les Légumineuses sont considérées comme plantes ayant un bon potentiel de phytoremédiation, Leur symbiose avec des bactéries du genre *Rhizobium* leur confère un avantage supplémentaire par rapport aux autres plantes utilisées en phytoremédiation.

1.1.1 La Fève

La fève (*Vicia faba* L.) (figure 1) est une plante uniquement diploïde et annuelle, de la famille des Fabacées, tribu des Fabeae dont la culture est pratiquée dans tous les pays tempérés, notamment sur le pourtour de la méditerranée (Chaux et Foury, 1994).



Figure 1 : La fève (*Vicia faba*L.) (Zerrouki et Ouhadda, 2013)

1.1.1.1 Classification botanique

Selon Cronquist (1981), la classification botanique de la fève est classée comme suit :

Règne..... Plantae.
Sous-règne..... Tracheobionta.
Division..... Magnoliophyta.
Classe Magnoliopsida.
Sous-classe Rosidae.
Ordre Fabales.
Famille..... Faba-ceae.
Sous-famille Faboideae.
Genre *Vicia*.
Espèce..... *Vicia faba*L.

1.1.1.2 Caractéristiques morphologiques

La plante se développe à partir d'une tige simple, dressée, creuse et de section quadrangulaire. Sa hauteur est généralement comprise entre 0,80 à 1,20 m, bien que certaines variétés naines aujourd'hui abandonnées, ne dépassent pas 40 cm.

La plante forme des feuilles alternes et composées-pennées. Elles sont constituées par 2 à 4 paires de folioles amples accompagnées de deux larges stipules.

Le système racinaire est à dominance pivotante. De vigueur moyenne, il peut s'enfoncer jusqu'à 80 cm. Les nodosités sont abondantes dans les 30 premiers centimètres (Chaux et Foury, 1994).

1.1.1.3 Exigences climatiques et édaphiques

La fève supporte les faibles gelées ne dépassant pas -3°C. Les fortes chaleurs (au-dessus de 22-25°C) lui sont néfastes (arrêt de croissance, chlorose).

Les besoins en eau sont élevés. Ils sont généralement satisfaits dans la première phase de la culture. (Chaux et Foury, 1994).

La fève ne présente pas d'exigences spécifiques au regard de la nature des sols pour peu que ceux-ci soient sains, suffisamment profonds et sans excès de calcaire. Un pH neutre à légèrement alcalin est recherché (Chaux et Foury, 1994).

1.1.2 Le Pois

Le pois (*Pisum sativum* L.) (figure 2), est une espèce annuelle de la famille des Fabacées. Le terme désigne aussi la graine elle-même, riche en énergie (amidon) et en protéine (Cléments, 1994).



Figure 2 : Le pois (*Pisumsativum*L.) (Zerrouki et Ouhadda ,2013)

1.1.2.1 Classification botanique

D'après Cronquist (1981), la classification botanique du pois est comme suite :

Règne Plantae
Sous règne Tracheobionta
Division Magnoliophyta
Classe Magnoliopsida
Sous-classe Rosidae
Ordre Fabales
Famille Fabaceae
Sous-famille Faboideae
Tribu Fabeae
Genre *Pisum*
Espèce..... *Pisum sativum* L.

1.1.2.2 Caractéristiques morphologiques

D'après Clement (1994), le pois forme une tige herbacée angulaire ou cylindrique avec peu ou pas de ramifications. Le plant est plus ou moins grimpant et s'accroche aux supports avec les vrilles des feuilles. Il forme des feuilles alternes avec là 3 paires de folioles et un long pétiole creux.

Le pois forme une racine principale pivotante développée et des racines secondaires latérales. Des nodules globulaires peuvent se développer sur la racine principale des jeunes plants.

1.1.2.3 Exigences climatiques et édaphiques

Le pois exige un climat tempéré humide et les diverses variétés résistent au grand froid (de -1 à 2°C). Les températures élevées accélèrent la maturation des pois et entraînent leur durcissement (Clément, 1994).

Le pois peut être cultivé dans les sols les plus variés. Toutefois, les meilleurs résultats sont obtenus dans les sols argileux, limono-sableux ou sableux, peu acides, pas trop compacts ni trop tourbeux, bien drainés et irrigables (Clément, 1994).

1.1.3 La Luzerne

La luzerne (figure 3) est une plante herbacée vivace. Comme toutes les légumineuses, ses racines portent des nodosités formées par des bactéries (*Rhizobium meliloti*), fixant l'azote de l'air et vivant en symbiose avec la plante. La luzerne est une légumineuse fourragère (Collin, 2003).



Figure 3 : La luzerne (*Medicago sativa*L.). (Zerrouki et Ouhadda, 2013)

1.1.3.1 Classification botanique

D'après (Cronquist, 1981), la classification botanique de la luzerne est comme suite :

Règne Plantae
Sous règne Tracheobionta
Division Magnoliophyta
Classe Magnoliopsida
Sous-classe Rosidae
Ordre Fabales
Famille Fabaceae
Sous-famille Faboideae
Tribu Trifolieae
Genre *Medicago*
Espèce..... *Medicago sativa*

1.1.3.2 Caractéristiques morphologiques

C'est une plante vivace de 50 à 80 cm de haut et à tiges dressées et ascendantes très ramifiées. Les feuilles sont trifoliées pétiolées et dentées. La racine pivotante, en sol profond et bien drainé, descend habituellement à plus de 5m de profondeur. La partie supérieure de la racine de la luzerne a un fort pivot grâce aux grosses racines secondaires qui se marquent à la surface, avec la présence des nodules (Berrama, 2004).

1.1.3.3 Exigences climatiques et édaphiques

La croissance des jeunes semis est rapide entre 20 et 30°C. En dessous de 10°C et au-delà de 37°C, la croissance est fortement réduite (Berrama, 2004).

Les besoins de la luzerne en eau varient entre 800 et 1600 m³/ha (Doornbos, 1987 in Slimane, 1992). La luzerne Préfère les sols argileux ou limoneux (Berrama, 2004).

1.2 Le sol

L'étude expérimentale a été réalisée sur un échantillon de sol qui provient de l'ITMA de Boukhalfa. Le prélèvement correspond à la couche superficielle du sol (0-25cm). Le sol est de texture argilo-limoneuse ce qui signifie un sol lourd muni d'une forte capacité de rétention en eau.

Matériels et méthodes

Les caractéristiques chimiques de l'échantillon du sol sont données dans le tableau II.

**Tableau II : Caractéristiques chimiques de l'échantillon du sol de l'ITMA
(Ammar Khoja et Belgaid, 2014)**

Caractéristiques chimiques	Résultats
pH	Alcalin (pH 8,55).
Calcaire total	Modérément calcaire (2,1%)
Matière organique	Moyennement pourvu en matière organique (3%)
Azote total	Moyennement pourvu en azote (N % =0,02%)
Carbone organique	Moyennement pourvu en carbone organique (1,74%)
Rapport C/N	Bonne activité biologique (8,7)
Conductivité électrique	Non salée (0,1mmhos/cm).

L'analyse de l'échantillon de sol montre une valeur du C/N qui est de 8,7. D'après Durand (1983), la matière organique évolue de façon satisfaisante dans ce sol. La conductivité électrique des sols détermine leur degré de salinité. Dans le sol de l'ITMA, cette conductivité est de 0,1 mmhos/cm, qui a été utilisée pour indiquer la classe de salinité des sols, nous concluons que ce sol est non salé.

1.3 Les hydrocarbures

Les hydrocarbures utilisés pour la contamination du sol sont des carburants, à savoir l'essence et le gasoil.

1.3.1 L'essence

C'est un produit du raffinage du pétrole brut, léger, soluble dans l'eau et assez biodégradable. L'utilisation généralisée de cet hydrocarbure largement commercialisé engendre une pollution très fréquente et peut provoquer des risques d'explosion en cas d'accumulation (Begbeg, 2008).

1.3.2 Le gasoil

D'après Dananché et ses collaborateurs (2007), le gasoil est un mélange d'hydrocarbures plus lourds que ceux de l'essence. C'est un carburant distillant entre 230 et 260 °C.

Il est constitué d'hydrocarbures paraffiniques, naphéniques, aromatiques.

2. Méthodes

L'étude consiste en une évaluation de l'effet de la concentration des hydrocarbures sur des cultures du pois, de la fève et de la luzerne ainsi que sur le sol.

Nous nous sommes intéressés aux indicateurs de croissance suivants : la biomasse racinaire, la biomasse aérienne, le volume et la longueur des racines, le nombre de feuilles et de nodules par plante. Nous nous sommes intéressés également à l'évaluation des effets des hydrocarbures sur quelques propriétés du sol telles que le pH et la conductivité électrique.

2.1 Dispositif expérimental

2.1.1 Contamination du sol

Le sol utilisé pour la culture, a été tamisé à l'aide d'un tamis à mailles de 4 mm de diamètre pour être ensuite divisé en deux lots avec trois répétition pour chaque lot, l'un est contaminé par l'essence et le deuxième par le gasoil, et pour chaque lot était ensuite divisé en cinq lots contaminés à différentes concentrations à savoir 2%, 4%, 6%, 8% et le cinquième sert de témoin avec trois répétitions pour chacune.

2.1.2. Mise en place de l'essai

Le semis a été réalisé le 26/11/2015 dans des pots de 4 cm de diamètre et 10 cm de profondeur contenant 100 g de sol a reçu 3 graines de fève, 5 graines de pois et 10 graines de luzernes, Un arrosage juste après le semis a été réalisé pour évacuer l'air compris entre les particules du sol et permettre une bonne germination des graines.

La récolte a eu lieu le 18 / 02 / 2015, elle a été réalisée avant le stade de floraison des plants. La partie aérienne a été séparée de la partie racinaire. Les racines des plantes ont été nettoyées et rincées à l'eau de robinet.

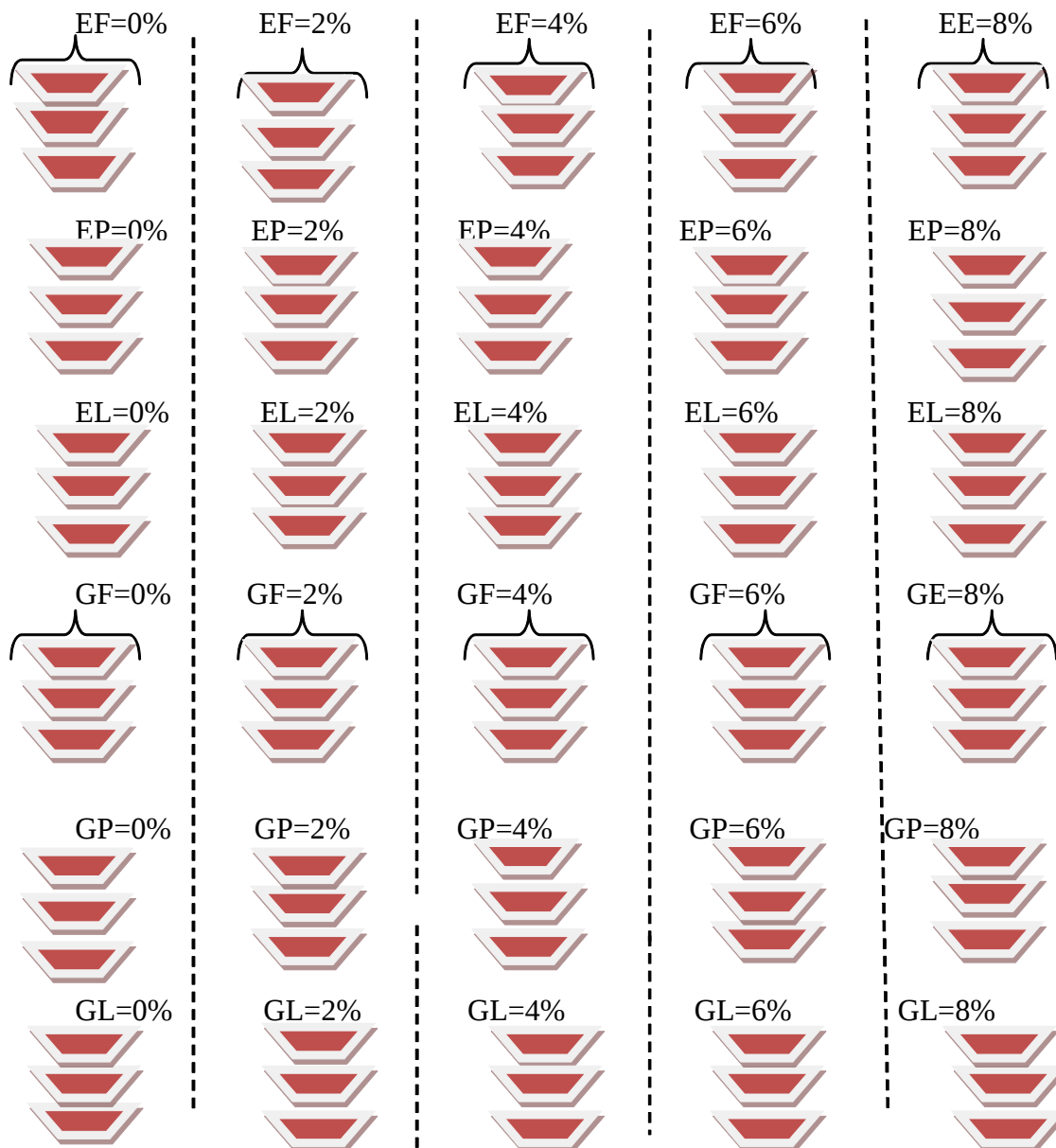


Figure 4 : schéma représentant le dispositif expérimental.

- L : Luzerne.
- P : Pois.
- F : Fève.
- E : Essence.
- G : Gasoil.

2.1.3 Le suivi de la culture

Le suivi de la culture au laboratoire a consisté en
Un arrosage régulier à l'eau de robinet durant les 10 semaines de l'expérience.

2.1.4 La récolte

La récolte elle a été réalisée avant le stade floraison des plants.

2.2 Effets des hydrocarbures sur les plantes

Afin d'évaluer les effets des hydrocarbures sur la croissance des différentes plantes, nous avons procédé à la mesure des paramètres suivants :

➤ **Le taux de levée**

Il consiste à établir un pourcentage de levée dans chaque lot. Il nous renseigne sur la germination des graines quand on a un taux de levé important on peut dire que il ya une bonne germination.

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

➤ **La Hauteur des plants**

Elle consiste à mesurer hebdomadairement à l'aide d'un mètre à ruban, la croissance en longueur des plants.

➤ **Le nombre de feuilles**

Elle consiste à dénombrer le nombre de feuilles dans chaque plante a la fin de la culture.

➤ **La Longueur des racines**

C'est la mesure de la longueur des racines principales des plants de chaque pot. Elle nous renseigne sur le rendement racinaire.

➤ **La biomasse de la partie aérienne**

Il s'agit de peser la partie aérienne des plants de chaque sol à l'état sec, la partie aérienne étant séparé de la partie racinaire et séchée à l'étuve à 65°C pendant 48 heures. Elle nous renseigne sur le rendement de la matière sèche.

➤ La biomasse de la partie racinaire

Elle consiste à mesurer le poids des racines en suivant les mêmes étapes que pour la biomasse aérienne. Elle nous renseigne sur le rendement de la matière sèche.

➤ Le volume de la partie racinaire

La partie racinaire a été mise dans des burettes graduées contenant un volume d'eau. Le volume de la partie racinaire est donné par la formule suivante :

$$v \text{ (cm}^3\text{)} = v_1 - v_0$$

v : volume racinaire

v_0 : volume de l'eau dans les burettes graduées avant la mise des racines

v_1 : le volume de l'eau après avoir mis les racines.

➤ Le nombre de nodules

Il s'agit de dénombrer les nodules sur les racines de chaque plant pour évaluer l'effet des hydrocarbures sur la nodulation.

2.3 Effet des hydrocarbures sur quelque propriété du sol

Les effets des hydrocarbures sur les propriétés chimique du sol consiste a mesuré les paramètres suivants :

2.3.1 Effets des hydrocarbures sur le pH du sol

Le pH exprime l'acidité actuelle : c'est le cologarithme de la concentration en ions H^+ de la solution du sol, il est très sensible aux modifications surgissant dans le sol. Pour évaluer le pH, 4 g du sol de chaque pot tamisé à 2 mm ont été pesés et mis dans des béchers auxquels ont été ajoutées 10 ml d'eau distillée bouillie et refroidie au rapport de 2/5 (masse/volume).

Après agitation pendant 2 mn à l'aide d'un agitateur mécanique et repos de 2 heures le pH a été mesuré à l'aide d'un pH-mètre de référence H.I 2210.

2.3.2 Effets des hydrocarbures sur la conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique permet d'exprimer la salinité totale d'une solution, ou bien elle traduit la concentration en électrolyte d'une solution. Pour évaluer la conductivité électrique, 10g du sol de chaque pot tamisé à 2 mm ont été pesés et mis dans des béchers auxquels ont été ajoutées 50 ml d'eau distillée bouillie et refroidie.

Après agitation pendant 2 mn à l'aide d'un agitateur mécanique et repos de 30 minutes et filtré avec papiers filtre pour obtenir une solution très claire, la CE est ensuite mesurée à l'aide d'un conductimètre.

2.5 Méthodes d'analyse statistique

Le traitement des résultats obtenu a été réalisé avec le logiciel R.3.0.2. Tous les résultats ont été soumis à une analyse de la variance à trois critères de classification qui sont la contamination et l'espèce végétale ainsi le carburent. Le test de Newman et Keuls permet la détermination des groupes homogènes, lorsque les différences entre les moyennes sont significatives.

Chapitre III

Résultats et discussions

Résultats et discussion

I-Résultats :

1 Effets des carburants sur le végétal

Les trois plantes (la luzerne, le pois et la fève) que nous avons semées ont été affectées par la présence des hydrocarbures dans le sol. En effet, des différences ont été observées au niveau des indicateurs de croissance que nous avons mesurés.

I-1-1Taux de levée

La figure 6 représente le taux de levée de la fève, du pois et de la luzerne sur le sol contaminé avec les différentes concentrations d'essence et de gasoil.

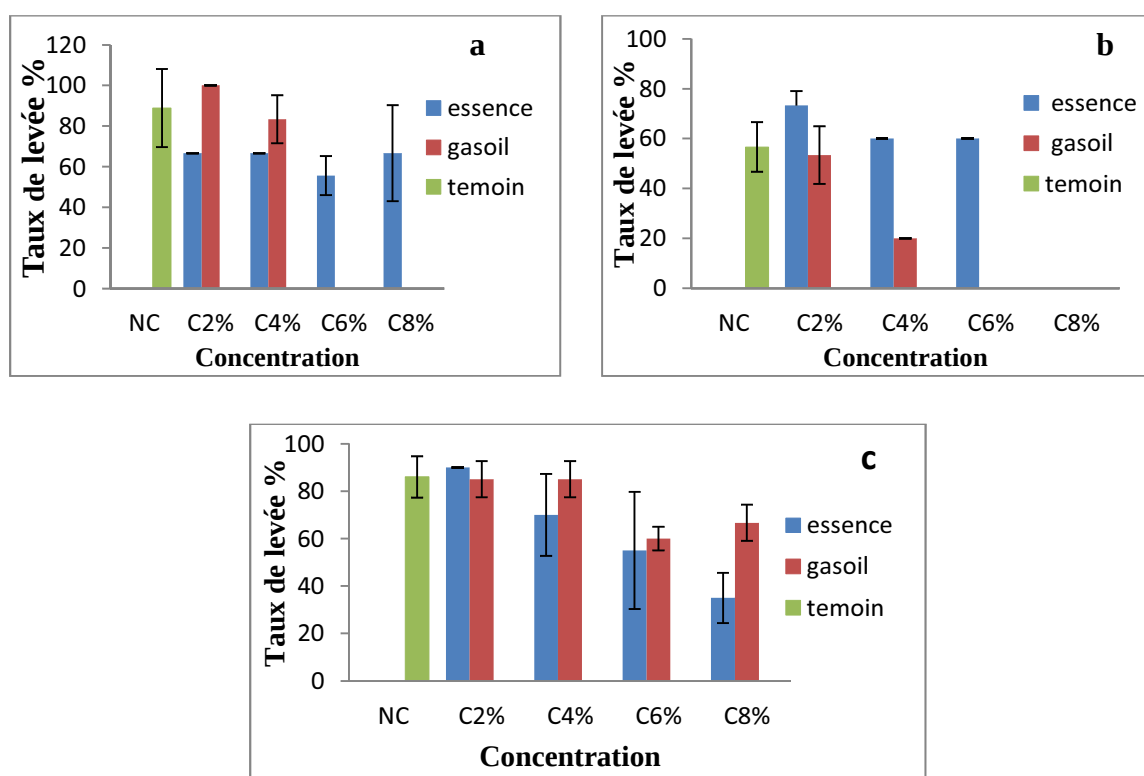


Figure 6 : Taux de levée de la fève (a), du pois(b) et de la luzerne (c) cultivés sur un sol différemment contaminé par l'essence et le gasoil.

Le taux de levée des graines de la fève diminue dans le sol contaminé avec l'essence par rapport au non contaminé. La levée des graines de la fève dans le sol témoin est élevée (88,88% des graines semées) puis elle diminue légèrement dans les sols contaminés.

Résultats et discussion

Par contre dans le sol contaminé par le gasoil, la levée des graines de la fève dans le sol témoin est élevée (88,88% des graines semées) et 100% dans le sol contaminé à 2%, puis elle diminue l'égerment jusqu'à 83,33% dans le sol contaminé à 4%, et pas de levé dans le sol contaminé à 6% et 8%.

Quant à la levée du pois semé dans le sol contaminé par l'essence nous avons enregistré un taux de 73,33% dans le sol contaminé à 2%, puis elle diminue légèrement jusqu'à 60% dans le témoin et le contaminé à 4% et 6%.

Dans le sol contaminé avec le gasoil, nous avons enregistré un taux de 53,33% dans le sol témoin et contaminé à 2%, elle diminué de moitié jusqu'à 20% dans le contaminé à 4%. Il n'y a pas eu de levée dans le sol contaminé à 8% pour les deux carburants. Le pois a résisté mieux à l'essence qu'au gasoil par ce que ce dernier est lourd par apport à l'essence.

Pour le sol contaminé par l'essence, la levée des graines de la luzerne est élevée (85% des graines semées) dans le sol contaminé à 2%, comparativement à celles observées dans le sol témoin et contaminé à 4% ou nous avons enregistré 70% de levé, un taux de 55% dans le sol contaminé à 6%, 35% dans le contaminé à 8%.

Pour le sol contaminé par le gasoil, la levée des graines de la luzerne dans le sol témoin est élevée (86% des graines semées) comparativement à celle observée dans le sol contaminé où nous avons enregistré 85% de levée dans le sol contaminé à 2% et 4%, un taux de 66.66% dans le sol contaminé à 8%, 60% dans le sol contaminé à 6%, et on remarque que la luzerne est mieux résisté dans le gasoil que dans l'essences.

L'analyse de la variance pour le taux de levée des trois espèces, a révélé une différence très hautement significative pour le facteur concentration et une différence significative pour le facteur espèce (tableau II, annexe 1).

Le test de Newman et Keuls pour le facteur concentration a fait ressortir trois groupes homogènes ; le groupe A qui contient la concentration faible C2 et le témoin, le groupe B qui contient C4, et le groupe C qui contient les concentrations élevées (C6 et C8)(tableau III, annexe 1).

Le test Newman et Keuls pour le facteur espèce (tableau IV, annexe 1) a fait sortir deux groupes homogènes ; le groupe A qui contient la fève, et le groupe B qui contient la luzerne et le pois, on peut dire que la fève est moins résistantes par rapport à la luzerne et au pois qui résistent au même degré aux hydrocarbures (essence et gasoil).

D'après les résultats obtenus, les carburants présents dans le sol ont provoqué un effet dépressif sur la levée des plants de la fève, de la luzerne et du pois. La concentration en carburant a aussi un effet sur la levée des trois espèces qui diminue à partir de 4%.

Résultats et discussion

I-1-2 Hauteur des plantes

La figure 7 illustre l'évolution hebdomadaire de la hauteur des plants de la luzerne, du pois et de la fève dans le sol contaminé par l'essence à différentes concentrations.

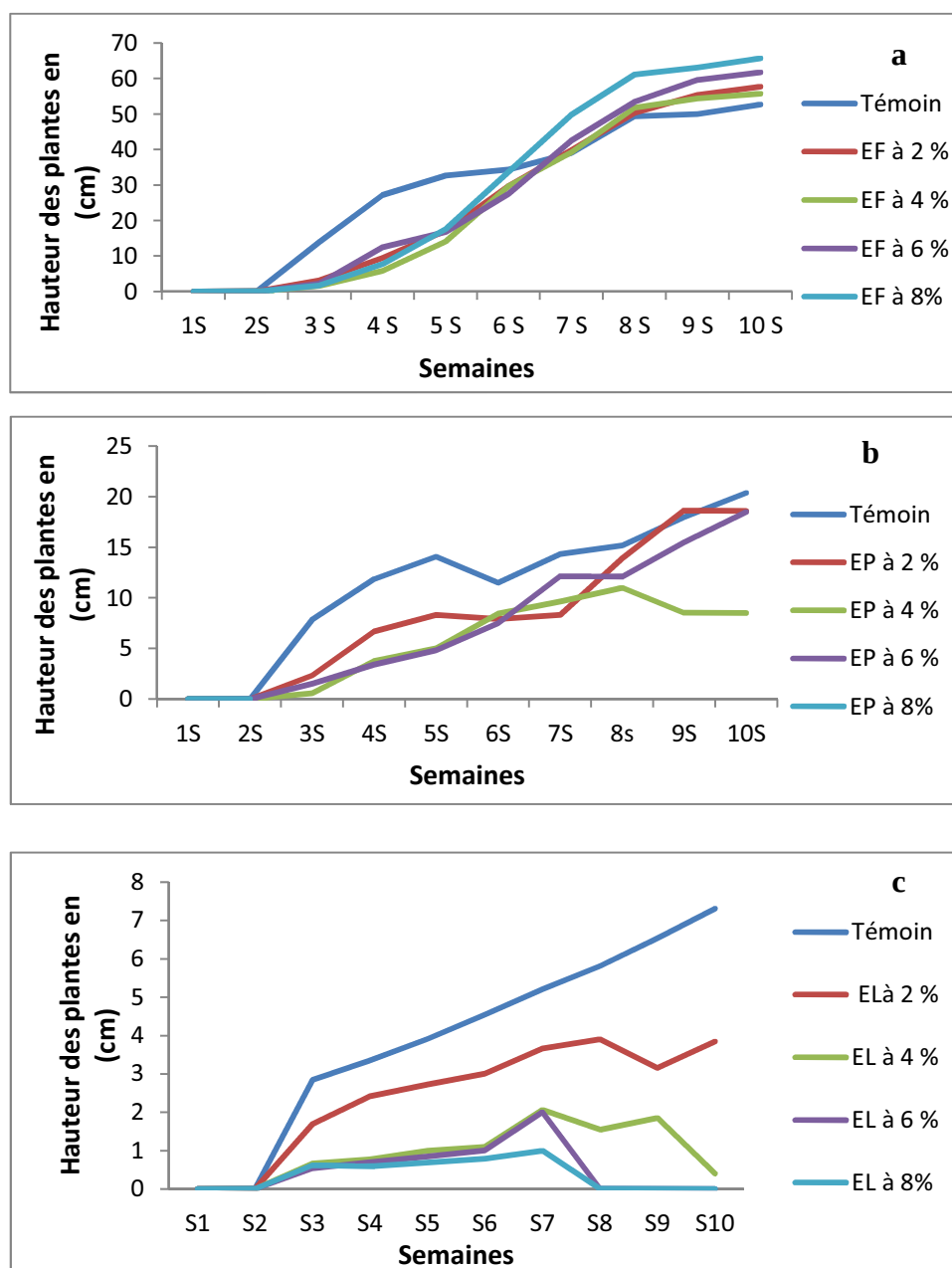


Figure 7 : Evolution de la hauteur de la fève (a), du pois (b) et de la luzerne (c) cultivés sur le sol différemment contaminé par l'essence.

Pour la hauteur de la fève, elle augmente avec l'augmentation de la concentration ou nous avons enregistré une hauteur moyenne 57,66 pour les concentrations (2%,4%) et le témoin, puis elle augmente légèrement jusqu'à 65,66 cm dans le sol contaminé à 8%.

Résultats et discussion

Pour le pois la hauteur diminue avec l'augmentation de la concentration ou nous avons enregistré une hauteur moyenne 20,37 cm dans le sol non contaminé, et des valeurs qui ne dépassent pas 18,56 cm dans les sols contaminé et 0 pour la contamination à 8% par ce qu'il n'y avait pas de levé des graines.

Les résultats présentés montrent que le sol contaminé par l'essence est défavorable au développement des plants de la luzerne.

Au bout des 10 semaines, nous avons remarqué que les plants de la luzerne ont atteint une hauteur moyenne de 3,31 cm dans le sol témoin, et des valeurs qui ne dépassent pas 3,85 cm dans les sols contaminé, et 0 cm pour la contamination à 6% et à 8% parce que les plants sont morts vers les 8 semaines et les 7 semaines respectivement.

Résultats et discussion

La figure 8 illustre l'évolution hebdomadaire de la hauteur des plants de la luzerne, du pois et de la fève dans le sol contaminé par le gasoil à différentes concentrations.

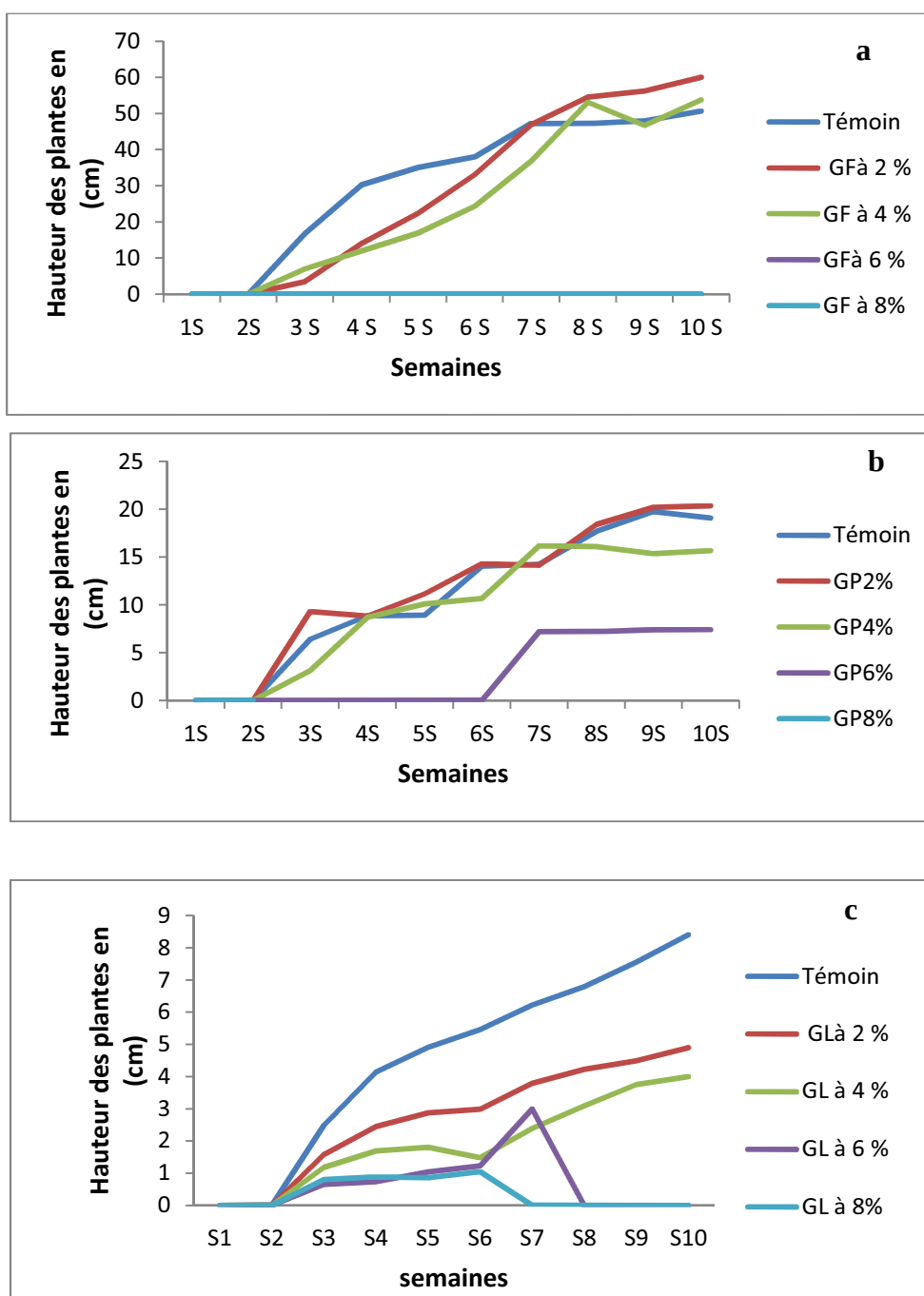


Figure 8: Hauteur des plants de la fève (a), du pois (b) et de la luzerne (c) dans le sol témoin et contaminés par le gasoil.

Pour la fève nous avons enregistré une hauteur moyenne de 60 cm dans le sol contaminé à 2%, 50,66 dans le sol non contaminé, 53,80 dans le sol contaminé à 4%, et 0 pour la contamination à 6% et à 8% parce qu'il n'y avait pas le levé des graines.

Résultats et discussion

Pour le pois, nous avons enregistré une hauteur moyenne de 20,33 cm dans le sol contaminé à 2%, 19,08 dans le sol non contaminé, 15,66 dans le sol contaminé à 4%, et pour la contamination à 6% il n'y avait pas de levé jusqu'aux 7 semaines et elle atteint 7,4 et elle reste stables, et 0 pour la contamination a 8% par ce qu'il n'y avait pas de levé des graines.

Les résultats présentés montrent que le sol contaminé par le gasoil est défavorable au développement des plants de la luzerne.

Au bout des 10 semaines, nous avons remarqué que les plants de la luzerne ont atteint une hauteur moyenne de 7,31cm dans le sol témoin, et des valeurs qui ne dépassent pas 3,85 cm dans les sols contaminés, et 0cm pour la contamination à 6% et à 8% parce que les plants sont morts vers les 8 semaines.

L'analyse de la variance pour la mesure hebdomadaire de la hauteur des trois espèces, exprimées en taux d'inhibition des contaminations, a révélé une différence très hautement significative pour le facteur concentration et pour le facteur espèce (tableau V, annexe1).

Le test Newman et Keuls (tableau VI, annexe1) pour le facteur concentration a fait ressortir deux groupes homogènes, le groupe A qui contient les faible concentrations (C4, C2, C6) et le groupe B qui contient la concentration la plus élevé C8.

Le test Newman et Keuls (tableau VII, annexe1) pour le facteur espèce a fait ressortir trois groupes homogènes ; le groupe A qui contient la luzerne, et le groupe B qui contient le pois, et le groupe C qui contient la fève, la fève est la plus résistante puis la luzerne et on dernier le pois.

Résultats et discussion

I-1-3 Nombre de feuilles par plant

La figure 9 représente le nombre de feuilles de la luzerne, du pois et de la fève sur le sol contaminé avec les différentes concentrations d'essence et de gasoil.

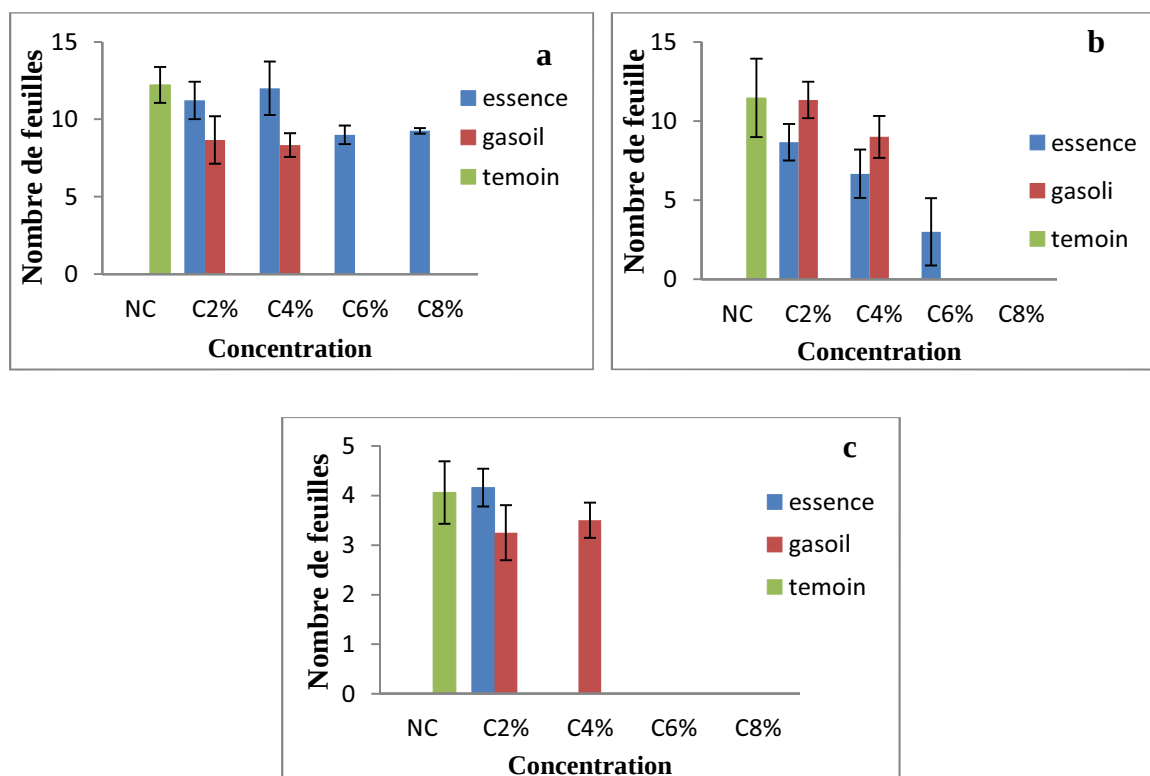


Figure 9 : Nombre de feuilles par plant de la fève (a), du pois (b), et de la luzerne(c) cultivée sur un sol différemment contaminé par l'essence et le gasoil.

Il apparait que le nombre de feuilles de la fève cultivée dans les différents sols contaminés par l'essence diminuent avec l'augmentation de la concentration. En effet nous avons constaté un nombre moyen de 12,21 dans le sol témoin et des valeurs moyennes qui ne dépassent pas 12 feuilles dans les sols contaminé. Dans le sol contaminé par le gasoil nous avons enregistré une moyenne de 12,21 dans le sol témoin et des valeurs moyennes qui ne dépassent pas 8,66feuilles dans les sols contaminé.

Pour le pois, nous avons enregistré une valeur de 11,46 au niveau du sol témoin et des valeurs moyennes qui ne dépasse pas 8 feuilles en moyen dans les sols contaminé par l'essence. Dans le sol contaminé par le gasoil nous avons enregistré une valeur de 11,46 au niveau du sol témoin et des valeurs moyennes qui ne dépasse pas 11,33feuilles en moyen dans les sols contaminés.

Pour la luzerne, le nombre des feuilles de la luzerne présente une moyenne de 4,06 au niveau du sol témoin, ce paramètre est affecté par la contamination du sol avec l'essence, nous avons enregistré une valeur moyennes de 4 feuilles, et nous avons constaté la mort des plants à 4%, 6% , 8%. Dans le sol contaminé par le gasoil le nombre des feuilles de la luzerne présente une moyenne de 4,06 au niveau du sol témoin, et des valeurs moyennes qui ne dépassant pas 3,5 feuilles dans le sol contaminé à 2% et 4%,et nous avons constaté la mort

Résultats et discussion

des plants a 6% et 8% pour les deux, à cause de l'effet toxique des hydrocarbures sur ces plants.

L'analyse de la variance pour le nombre de feuilles des trois espèces, exprimé en taux d'inhibition des contaminants, a révélé une différence hautement significative pour le facteur espèces et pas de différence significative pour les autres facteurs (tableau VIII, annexe1).

Le test Newman et Keuls (tableau IX, annexe1) pour le facteur espèce a fait sortir deux groupes homogènes le groupe A qui contient le pois, et le groupe B qui contient la fève, et le groupe AB qui contient la luzerne. Ceci signifie que la fève est plus résistante aux hydrocarbures, après le pois et en dernier la luzerne.

Il ya l'effet des carburants sur les espèces mais ses dernier ne réagissent pas de la même façon au polluant.

I-1-4 La longueur racinaire

La figure 10 représente la longueur racinaire de la luzerne, du pois et de la fève sur le sol contaminé avec les différentes concentrations d'essence et de gasoil.

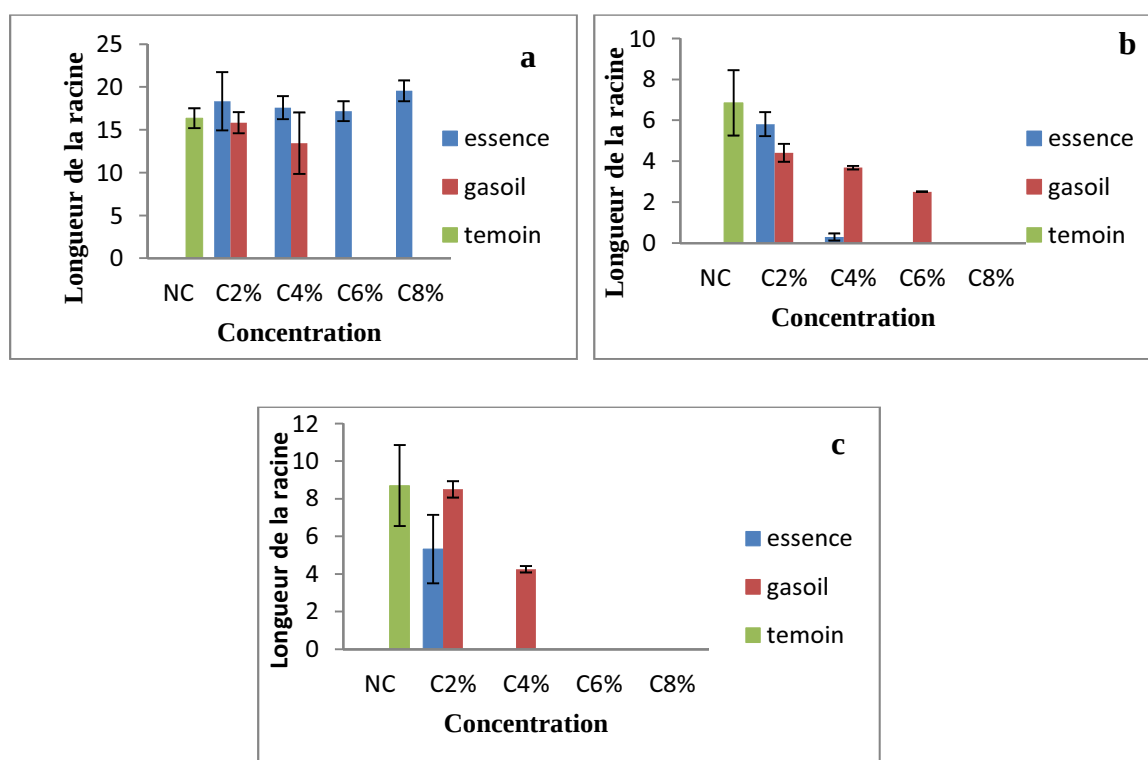


Figure 10 : La longueur des racines de la fève (a), du pois (b) et de la luzerne (c) cultivée sur un sol différemment contaminé par l'essence et le gasoil.

Résultats et discussion

Pour la longueur racinaire des plantes de la fève dans le sol contaminé par l'essence nous avons enregistré une valeur de 19,55 cm dans le contaminé à 8% et des valeurs moyennes qui ne dépassent pas 18,33 cm pour les autres sols. Dans le sol contaminé par le gasoil nous avons enregistré une valeur de 16,35 cm dans le sol non contaminé et des valeurs moyennes qui ne dépassent pas 15,83 cm dans le sol contaminé.

Concernant la longueur des racines du pois cultivé dans le sol contaminé par l'essence, elle a atteint une valeur moyenne 6,85 cm au niveau du sol non contaminé après elle commence à diminuer jusqu'à 0,3 dans le sol contaminé à 4%. Dans le sol contaminé par le gasoil nous avons enregistré une valeur de 6,85 dans le sol témoin et des valeurs moyennes qui ne dépassent pas 4,41 dans les sols contaminés. Ce qui montre une réduction de la longueur des racines du pois.

La croissance des racines de la luzerne cultivée dans le sol non contaminé est de 8,7 cm et elle n'est que de 5,33 cm avec le sol contaminé par l'essence à 2%. Dans le sol contaminé par le gasoil nous avons enregistré une valeur moyenne de 8,7 dans le sol témoin et des valeurs qui ne dépassent pas 8,5 cm pour les sols contaminés.

L'analyse de la variance pour la longueur de la racine principale des trois espèces qui a été analysée avec le taux d'inhibition a révélé une différence hautement significative pour le facteur concentration et très hautement significative pour le facteur espèce (tableau X, annexe1).

Le test Newman et Keuls (tableau XI, annexe1) pour le facteur concentration a fait sortir deux groupes homogènes le groupe A qui contient les faibles concentrations (C4, C6, C2), et le groupe B qui contient la concentration la plus élevée C8.

Le test Newman et Keuls (tableau XII, annexe1) pour le facteur espèce a fait sortir deux groupes homogènes le groupe A qui contient le pois et la luzerne, le groupe B qui contient la fève. Ceci signifie que la fève est plus résistante aux polluants par rapport à la luzerne et le pois qui résiste de la même façon.

Résultats et discussion

I-1-5 Volume racinaire

La figure 11 représente le volume racinaire de la luzerne, du pois et de la fève sur le sol contaminé avec les différentes concentrations d'essence et de gasoil.

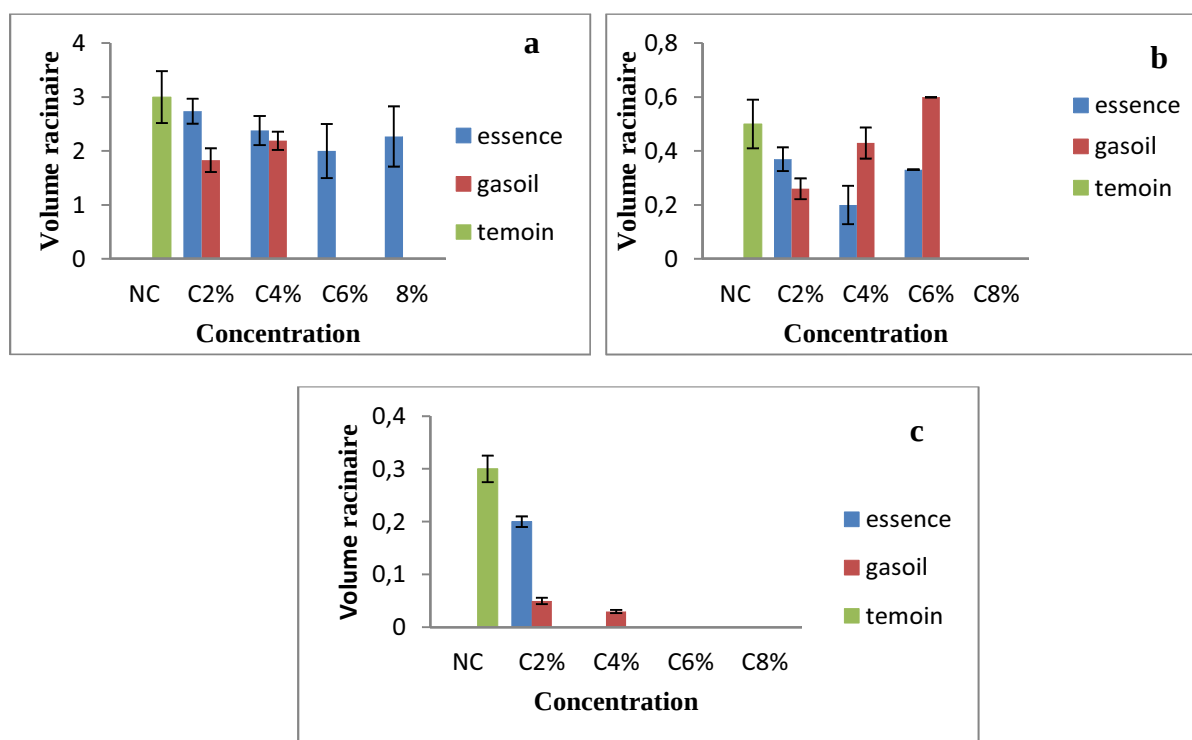


Figure 11: Volume racinaire des plants de la fève (a), du pois(b) et de la luzerne (c) cultivés sur un sol différemment contaminé par l'essence et le gasoil.

Concernent le volume racinaire, pour la fève nous avons obtenu des valeurs moyennes de 3, 2,74, 2,38, 2 et 2,27 selon le gradient de concentration de l'essence. Dans le sol contaminé par le gasoil, nous avons enregistré des valeurs moyennes de 3, 1,83, 2,19 selon le gradient de concentration.

Concernent le volume racinaire du pois, nous avons enregistré des valeurs moyennes de 0,5, 0,37, 0,2, 0,33 selon le gradient de concentration de l'essence. Dans le sol contaminé par gasoil, nous avons obtenu des valeurs moyennes 0,5, 0,45, 0,43, 0,41 selon le gradient de concentration.

Pour ce qui concerne le volume racinaire de la luzerne nous avons enregistré des valeurs moyennes 0,3, 0,2 correspond aux concentrations selon le gradient de concentration de l'essence. Pour le gasoil, nous avons obtenu des valeurs moyennes 0,3, 0,05, 0,03 selon le gradient de concentration.

L'analyse de la variance pour le volume racinaire des trois espèces qui a porté sur le taux d'inhibition des contaminants, a révélé une différence significative pour le facteur espèce (Tableau XIII, annexe1).

Résultats et discussion

Le test Newman et Keuls (tableau XIV, annexe1) pour le facteur espèce a fait ressortir deux groupes homogènes le groupe A contenant le pois et la fève, le groupe B qui contient la luzerne. On peut dire que la luzerne est plus résistante par rapport à la fève et au pois.

I-1-6 Biomasse aérienne

La figure 12 représente la biomasse aérienne de la luzerne, du pois et de la fève sur le sol contaminé avec les différentes concentrations d'essence et de gasoil.

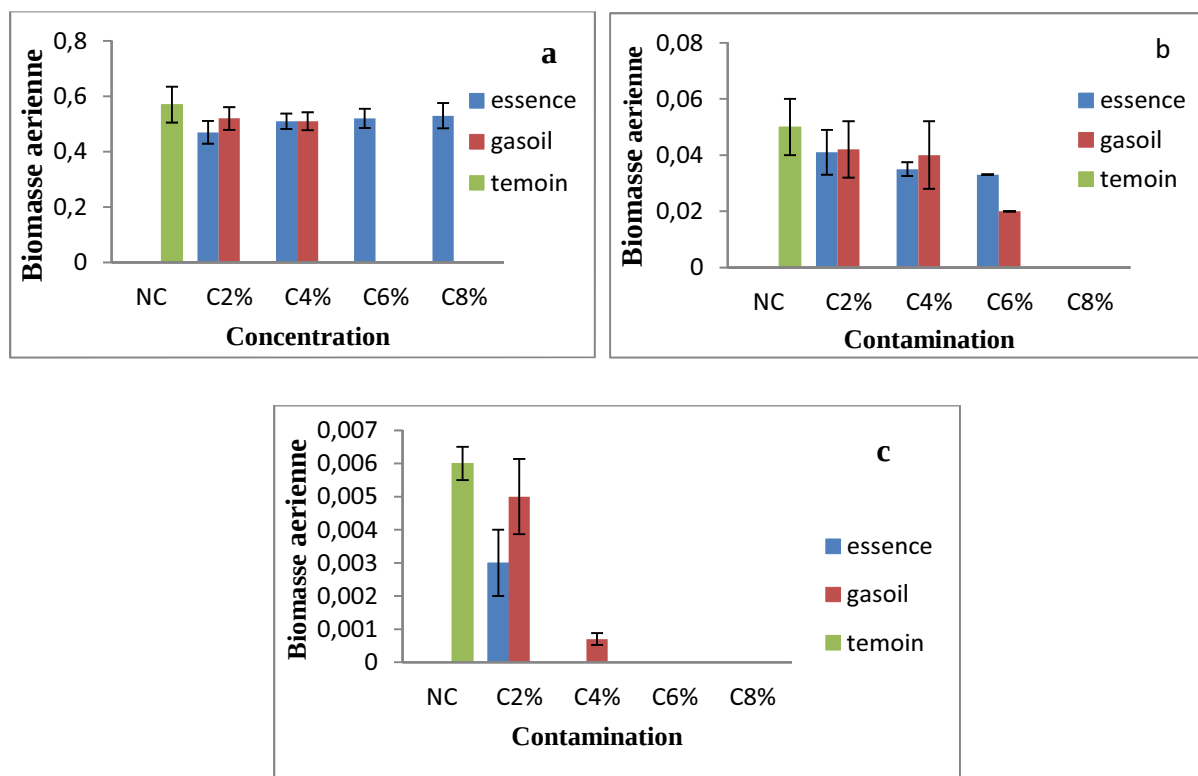


Figure 12: La biomasse aérienne de la fève (a), du pois (b) et de la luzerne (c) cultivés sur un sol différemment contaminé par l'essence et le gasoil.

Pour la biomasse aérienne de la fève nous avons enregistré une valeur de 0,57g dans le sol non contaminé et des valeurs moyennes qui ne dépassent pas 0,53g dans les sols contaminés par l'essence. Dans le sol contaminé par le gasoil, nous avons enregistré une valeur de 0,57g dans le non contaminé et des valeurs moyennes qui ne dépassent pas 0,52g dans les sols contaminés.

Pour la biomasse aérienne du pois nous avons enregistré une valeur de 0,05g dans le sol non contaminé et des valeurs moyennes qui ne dépassent pas 0,041g pour les sols contaminés par l'essence.

Quant au sol contaminé par le gasoil nous avons enregistré une valeur de 0,05g dans le sol témoin et des valeurs moyennes qui ne dépassent pas 0,042g pour les autres concentrations.

Résultats et discussion

Pour la biomasse aérienne de la luzerne nous avons enregistré une valeur de 0,006g dans le sol non contaminé et une valeur de 0,003g pour le sol contaminé à 2%. Dans le sol contaminé par le gasoil nous avons enregistré une valeur de 0,006g dans le sol non contaminé et des valeurs moyennes qui ne dépassent pas 0,005g pour les autres concentrations.

L'analyse de la variance pour la biomasse aérienne des trois plantes, exprimé en taux d'inhibition des contaminants, a révélé une différence hautement significative pour le facteur espèce (tableau XV, annexe1).

Le test Newman et Keuls (tableau XVI, annexe1) pour le facteur espèce a fait ressortir deux groupes homogènes le groupe A qui contient la luzerne, le groupe B qui contient le pois et la fève. On peut dire que la fève et le pois résiste de même degré au hydrocarbure par contre la luzerne est moins résistante.

I-1-7 Biomasse racinaire

La figure 13 représente la biomasse racinaire de la fève, du pois et de la luzerne sur le sol contaminé avec les différentes concentrations d'essence et de gasoil.

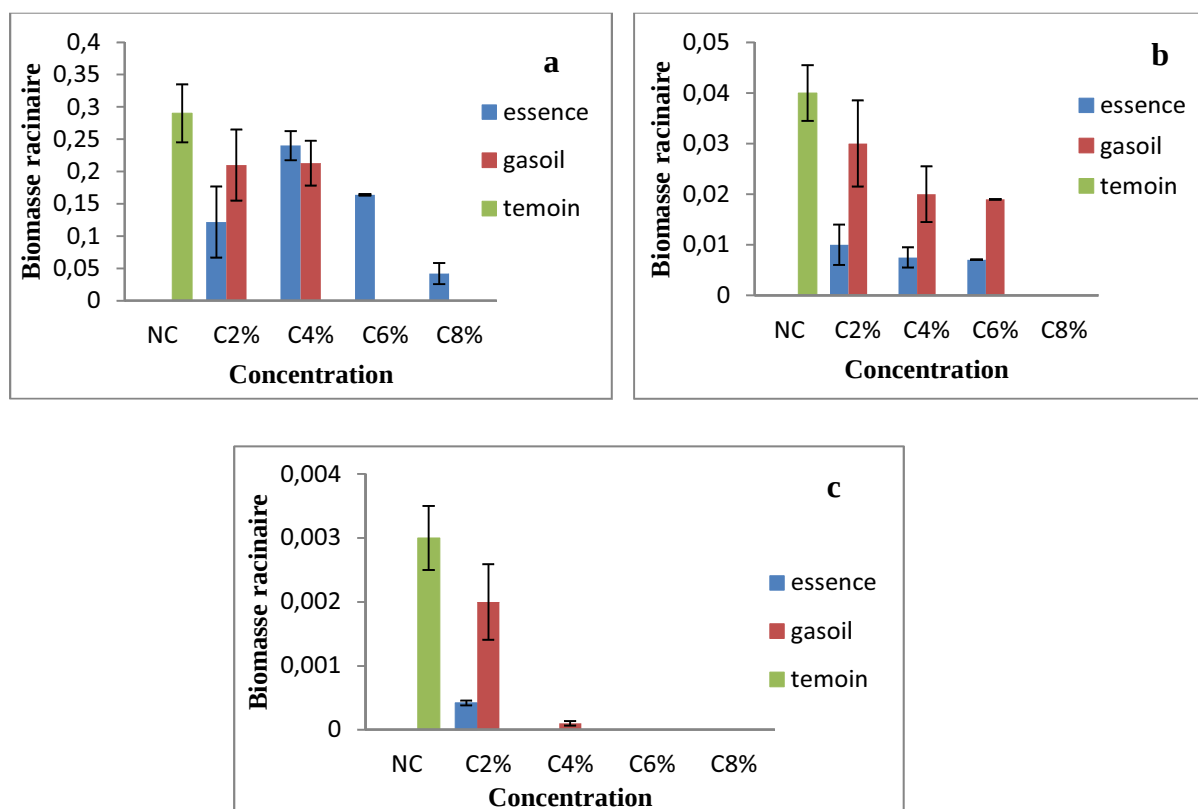


Figure 13: La biomasse racinaire de la fève (a), du pois (b) et de la luzerne (c) cultivés sur un sol différemment contaminé par l'essence et le gasoil.

Pour la biomasse racinaire de la fève nous avons obtenu une valeur de 0.29 dans le sol non contaminé et des valeurs moyennes qui ne dépassent pas 0.24 pour les sols contaminés.

Résultats et discussion

Quand au sol contaminé par le gasoil, nous avons enregistré une valeur de 0.29 dans le sol non contaminé et des valeurs moyennes qui ne dépassent pas 0.21 pour les sols contaminés.

Pour la biomasse racinaire de pois nous avons enregistré une valeur de 0.04 dans le sol non contaminé et des valeurs moyennes qui ne dépassent pas 0.01 pour les sols contaminés par l'essence.

Et dans le sol contaminé par le gasoil nous avons obtenu une valeur de 0.04 dans le sol non contaminé et des valeurs moyennes qui ne dépassent pas 0.03 pour les sols contaminés.

Pour la biomasse racinaire de la luzerne nous avons enregistré une valeur de 0.003 dans le sol non contaminé et 0.0004 dans le sol contaminé à 2%.

Quand au sol contaminé par le gasoil nous avons obtenu une valeur de 0.003 dans le sol non contaminé et des valeurs moyennes qui ne dépassent pas 0.002 pour les sols contaminés.

L'analyse de la variance pour la biomasse racinaire des trois plantes, exprimé en taux d'inhibition des contaminants, a révélé une différence hautement significative pour le facteur espèce et une différence significative pour le facteur carburant (tableau XVII, annexe1).

Le test Newman et Keuls (tableau XVIII, annexe1) pour le facteur espèce a fait sortir deux groupes homogènes le groupe A qui contient la luzerne, le groupe B qui contient la fève et le pois. On peut dire que le pois est plus résistant, après la fève et en dernier la luzerne.

Résultats et discussion

I-1-8 Nombre des nodules

La figure 14 représente le nombre de nodule de la fève, du pois et de la luzerne sur le sol contaminé avec les différentes concentrations d'essence et le gasoil.

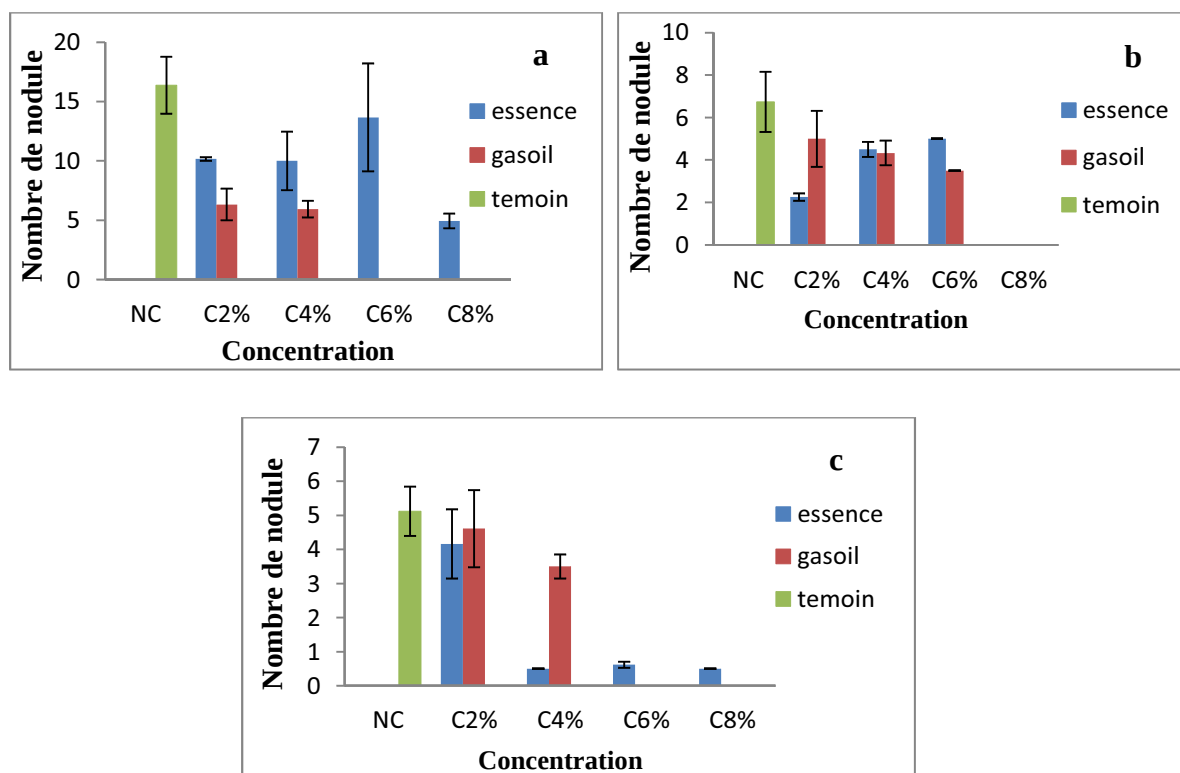


Figure 14 : le nombre de nodule sur les racines de la fève (a), du pois (b) et de la luzerne (c) cultivés différemment contaminé par l'essence et le gasoil.

Pour le nombre de nodules de la fève, nous avons obtenu une valeur de 16,38 nodules au niveau du sol non contaminé et des valeurs qui ne dépassent pas 13,66 pour les sols contaminés. Dans le sol contaminé par le gasoil, nous avons enregistré une valeur de 16,38 nodules dans le sol contaminé et des valeurs qui ne dépassent pas 6,33 pour les sols contaminés.

Chez le pois, nous avons enregistré une valeur de 6,74 nodules au niveau du sol témoin et des valeurs qui ne dépassent pas 5 pour les sols contaminés par l'essence.

Quand au sol contaminé par le gasoil, nous avons enregistré une valeur de 6,74 nodules au niveau du sol non contaminé et des valeurs qui ne dépassent pas 5 pour les sols contaminés.

Concernant le nombre des nodules de la luzerne, nous avons obtenu une valeur de 5,12 nodules au niveau du sol non contaminé et des valeurs qui ne dépassent pas 4,16 pour les sols contaminés.

Résultats et discussion

Et pour le sol contaminé par le gasoil, nous avons enregistré une valeur de 5,12 nodules au niveau du sol non contaminé et des valeurs qui ne dépassent pas 4,61 pour les sols contaminés.

L'analyse de la variance du nombre de nodules révèle qu'il n'y avait pas de différence significative (tableau XIX, annexe).

I-2 pH

La figure15 représente le pH du sol de la fève, du pois et de la luzerne sur le sol contaminé avec les différentes concentrations d'essence et de gasoil.

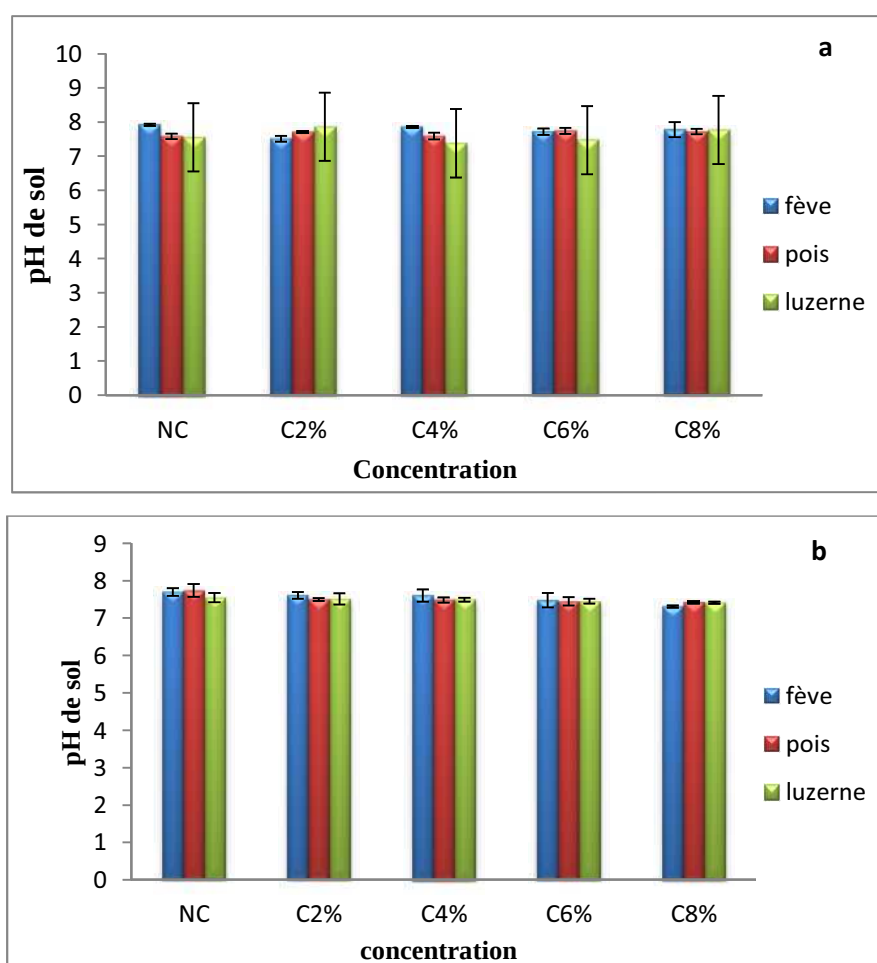


Figure 15 : pH du sol différemment contaminé par l'essence (a) et par le gasoil (b).

Dans le sol contaminé par l'essence, il n'y a pas de variation de pH entre les différentes concentrations et entre les trois espèces.

Le résultat présente dans cette figure, indique une valeur moyenne de 7,7, 7,74, 7,55 dans le sol témoin de différentes cultures à savoir la fève, le pois et la luzerne. Les résultats enregistrés montrent une légère diminution du pH dans les sols différemment contaminé par le gasoil, une valeur moyenne (de toutes les concentrations) du pH qu'est de

Résultats et discussion

7,31, 7,42, 7,41 pour les sols contaminés à 8% cultivés par la fève, le pois et la luzerne respectivement.

L'analyse de la variance pour le pH du sol a révélé un effet significatif du facteur concentration ainsi que pour le facteur carburant et l'interaction des trois facteurs (concentration, espèce et carburant), ce qui explique que les hydrocarbures ont un effet sur le pH des différents sols (Tableau XX) dans annexe1.

Le test Newman et Keuls (tableau XXI, annexe1) pour le facteur concentration a fait sortir trois groupes homogènes, le groupe A qui contient la concentration la plus faible (C2), le groupe B qui contient la concentration la plus élevée (C8), et un groupe AB qui contient les concentrations moyennes (C4, C6) et le témoin.

I-3 Conductivité électrique

La figure 16 représente la conductivité électrique du sol contaminé avec les différentes concentrations d'essence et de gasoil.

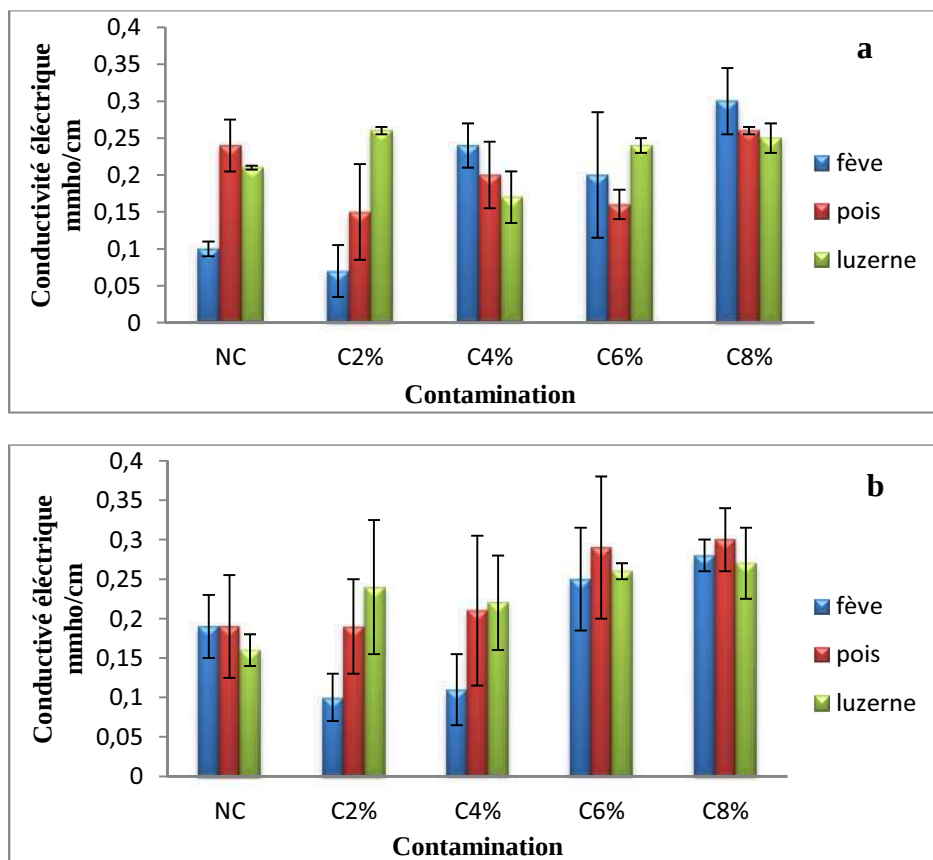


Figure 16 : la conductivité électrique du sol différemment contaminé par l'essence (a) et le gasoil (b).

Dans le sol contaminé par l'essence nous avons enregistré des valeurs moyennes de 0,1, 0,24, 0,21 dans le sol témoin de différentes cultures à savoir la fève, le pois et la luzerne.

Résultats et discussion

Les résultats enregistrés montrent une augmentation de la conductivité électrique dans les sols différemment contaminés jusqu'à atteindre 0,3, 0,26, 0,25 pour les sols contaminés à 8% cultivés par la fève, le pois et la luzerne respectivement.

Quand au sol contaminé par le gasoil nous avons enregistré des valeurs moyennes de 0,19, 0,19, 0,16 dans le sol non contaminé de différentes cultures à savoir la fève, le pois et la luzerne, après il augmente avec le gradient de concentration jusqu'à atteindre 0,28, 0,3, 0,27 dans le sol contaminé 8% cultivé par la fève, le pois et la luzerne respectivement.

L'analyse de la variance pour la conductivité de sol a révélé une différence non significative (tableau XXII, annexe1), il n'y donc pas d'effet de l'espèce et de la contamination et les carburants sur la conductivité du sol.

II-Discussion

D'après les résultats obtenus, les différentes concentrations de l'essence et du gasoil dans le sol ont provoqués un effet toxique sur la levée des graines de la luzerne et du pois, ainsi que celles de la fève, cette toxicité augmente avec l'augmentation de la concentration.

Nous avons constaté que les carburants induisaient une inhibition de la germination qui est due à l'atteinte de l'embryon (altération de l'embryon par les hydrocarbures) ou à l'inhibition des réactions métaboliques de la graine, ou encore aux modifications des caractéristiques physico-chimiques du sol (Chaineau et *al.*, 1996).

Selon Udo et Fayemi (1995) in Chaineau et *al.* (1997), les hydrocarbures peuvent entrer dans les graines, empêcher les réactions métaboliques et tuer l'embryon par une toxicité aigue 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.

Bergue (1986) a signalé que les effets des hydrocarbures sur la flore dépendaient aussi de l'espèce végétale et du stade physiologique de la végétation.

Il est également important de connaître le niveau de sensibilité de la graine dans un sol contaminé. Il semble que les hydrocarbures soient plus toxiques sur les graines ayant besoin de bonnes conditions d'aérobiose pour germer (maïs) que sur des graines pouvant germer en conditions d'anaérobiose partielle (riz). La plupart des hydrocarbures n'ont pas d'effets irréversibles sur la germination de graines telles que la carotte, le trèfle, la luzerne (Bergue et Merienne, 1986).

Les hydrocarbures ont un effet sur la croissance des plantes qui a été beaucoup plus marqué au niveau du gasoil qui est plus toxique et lourd par rapport à l'essence à cause de leur composition chimique et l'incapacité des plantes à tolérer la concentration des métaux lourds dans le gasoil.

Concernant la hauteur des plants, nous avons constaté que les deux carburants ont eu un effet sur la croissance des plantes de la luzerne, du pois et de la fève, l'effet phytotoxique

Résultats et discussion

des hydrocarbures a été observé à travers la diminution de la germination, des retards de la croissance (Chaineau et *al.*, 1996).

Le manque de potassium aurait provoqué le nanisme des plantes, c'est ce que nous avons observé dans le sol contaminé par le gasoil. D'après Heller (1998), les légumineuses (Fabacées) sont exigeantes en potassium.

Chaineau et *al.* (1997) ont associé la réduction de la croissance des plantes lors d'une contamination du sol par les hydrocarbures, au déficit alimentaire causé par les hydrocarbures.

Selon Chaineau et ses collaborateurs (1996), les hydrocarbures peuvent provoquer une diminution de la teneur du sol en phosphore (P) et une augmentation en carbone organique total.

D'après Chaineau et ses collaborateurs (2000) la hauteur des plantes diminue avec l'augmentation de la concentration en hydrocarbures. Cela est dû à la phytotoxicité des hydrocarbures qui inhibent pour une longue période, le développement de la végétation.

D'après Guiddens (1976), quelque soit la concentration en hydrocarbures, la croissance des plantes peut être réduite. Cette réduction serait due à un manque d'assimilation d'eau et d'éléments nutritifs et au changement des propriétés du sol.

Dans notre expérience la hauteur des plantes de pois et de la luzerne diminuent avec l'augmentation de la concentration, mais la hauteur de la fève ne diminue pas avec l'augmentation de concentration dans le sol contaminé par l'essence, ça peut être due à la capacité des graines de la fève à tolérer cette toxicité.

D'après Duchauffour (1997), les hydrocarbures perturbent la croissance des végétaux et leur phytotoxicité dépend de la concentration du contaminant, du type d'hydrocarbure et des espèces végétales (luzerne, pois, fève).

Concernant le nombre de feuilles par plant, il est fortement réduit dans les sols contaminés par l'essence et le gasoil. Cela serait dû à l'effet toxique de l'essence et du gasoil sur les trois plantes.

Selon Heller (1998), la carence en azote ou faim d'azote se traduit non seulement par une végétation chétive mais par une chlorose, c'est-à-dire un palissement des feuilles, tirant sur le jaune, par suite de l'arrêt de la synthèse de la chlorophylle. Secondairement il peut y avoir apparition des pigments colorés et même la chute des feuilles.

Cette réduction du nombre de feuilles peut être due à la carence en éléments nutritifs qui seront lessivés par les hydrocarbures ou immobilisés et donc non assimilable, notamment la carence en azote qui serait due à la diminution du nombre de nodosités dans les racines des plantes cultivées dans le sol contaminé.

Ces résultats peuvent être aussi dus aux changements des propriétés du sol qui influent sur le développement du système foliaire. En tenant compte du fait que l'assimilation du

Résultats et discussion

nitrate a lieu principalement dans les feuilles et les racines. Chez les légumineuses nous avons une assimilation racinaire des nitrates très importants (Sechley et *al.*, 1992).

L'effet de toxicité sur la croissance foliaire peut être corrélé avec les propriétés hydrophobes du gazoil qui empêche et/ou qui réduisent les échanges d'eau et de gaz (Chaineau et *al.*, 1997).

Selon Gatelier et ses collaborateurs. (1974), un produit lourd à viscosité élevée pénétrant plus lentement les tissus cause des dégâts chroniques moins apparents, mais réduit les échanges gazeux entre la plante et l'atmosphère.

Concernent le nombre des nodules, il est plus élevé dans le sol témoin que dans les sols contaminés. Cela serait dû à l'effet toxique des hydrocarbures sur les micro-organismes vivant en symbiose avec les Légumineuses, et l'altération de l'interaction symbiotique entre les bactéries du genre *Rhizobium* et les plantes hôte au niveau racinaire à cause des effets des hydrocarbures.

Ces résultats nous laissent supposer que la présence des hydrocarbures dans le sol engendre une inhibition de l'activité biologique des micro-organismes symbiotiques.

Selon Bariusso et *al.* (1996), l'action toxique des hydrocarbures provoque un ralentissement de l'activité microbienne du sol, se traduisant par des modifications des caractéristiques physiologiques de la microflore, entre autre, la dénaturation du système enzymatique mais aussi de la diversité des micro-organismes, par la destruction des réactions des nitrogénases.

L'asphyxie des plantes provoquée par l'accumulation des hydrocarbures dans le sol est causé par l'absence de l'oxygène au niveau des pores du sol qui sont occupé par l'hydrocarbure, selon Heller (1998) l'oxygène est nécessaire dans la fixation d'azote.

L'humidité est une propriété très importante pour le sol lui-même ainsi que pour le végétal qui le recouvre. La présence des hydrocarbures dans le sol peut changer la teneur en humidité de ce dernier. L'augmentation de l'humidité du sol contaminé par les hydrocarbures, une asphyxie du végétal en remplissant les pores du sol en eau à la place de l'air. Cette amplification de l'eau est plus importante au niveau des sols contaminés avec l'hydrocarbure, du fait que ce dernier est une huile visqueuse qui rend difficile l'évapotranspiration du sol et accroît sa rétention en eau. D'après Brunete (2008), la perte réduite de la transpiration due à l'eau et la réduction du taux d'absorption de l'eau dans le sol ont comme conséquence l'augmentation de l'humidité du sol. D'après les résultats sus cités, l'inhibition de la croissance racinaire des espèces peut mener à la baisse de la pénétration de l'eau et à l'accumulation de celle-ci à la surface du sol. Dans les conditions normales, on observe une meilleure croissance du végétal qui permet une augmentation de l'absorption de l'eau, c'est le cas du sol témoin.

D'après les résultats d'Ait Tayeb et Titouche (2011), la teneur en eau du sol est beaucoup plus importante dans le sol contaminé par le pétrole brut par rapport au sol témoin.

Concernent la longueur de la racine principale, les résultats enregistré montre une diminution de la longueur avec le gradient de concentration. Les racines se trouvent dans le

Résultats et discussion

sol, donc elles sont soumises directement au polluant et aux effets qu'ils provoquent sur les propriétés du sol.

Selon Hopkins (2003) l'efficacité des racines en tant qu'organes d'absorption, dépend de l'étendue du système racinaire.

Selon Norini, (2007) la diminution de la croissance racinaire peut être due aux propriétés hydrophobes des hydrocarbures qui peuvent limiter l'effet bénéfique de l'association plante-micro-organismes.

L'atteinte des racines peut être due au changement des propriétés du sol et/ou de la diminution des éléments nutritifs, qui sont essentiels pour leur développement et leur absence se manifestent par l'apparition de symptômes biochimiques ou morphologiques liés à cette carence.

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

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

L'effet néfaste des contaminants sur la biomasse végétale est probablement dû à la perturbation de la nutrition hydrominérale du végétal, ainsi qu'à l'inhibition de la croissance racinaire qui peut mener à une basse absorption de l'eau 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.

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

Les rapports C/N et C/P diminuent puisqu'il y a un enrichissement du sol en carbone suite à l'apport d'hydrocarbure (Morot, 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 (Chaineau et al., 1997).

Résultats et discussion

La diminution du nombre de nodosité, qui a été remarqué chez les plants cultivés dans les sols contaminés par l'essence et le gasoil nous laissent supposer que la présence de ces dernier dans le sol engendre une inhibition de l'activité biologique, cette inhibition est d'autant plus importante que la concentration du sol en hydrocarbures est élevée, Selon (barriuso et *al.*,1996), l'action toxiques des hydrocarbures provoque un ralentissement de l'activité microbienne du sol, se traduisent par des modifications des caractéristiques physiologiques de la microflore, entre autre, la diminution du système enzymatique mais aussi de la diversité des micro-organismes. La composition des communautés microbiennes de la rhizosphère dépend du type de la plante, du type de la racine, de l'âge de la plante, (Norini, 2007). L'atteinte du nombre des nodules peut être du à la diminution de l'apport des éléments minéraux tel que le phosphore qui permet l'amélioration de la symbiose légumineuses-Rhizobia (Bordeau et *al.*, 1981 in Anonyme, 2000).

Nous avons constaté aussi que la concentration en carburant avait un effet sur le pH du sol. En effet, certaines substances organiques influent l'acidité du sol, ce qui a une grande importance sur le plan de l'exploitation des sols et le degré de pollution (Koller, 2004). Bergue (1986) note qu'il ya une légère acidification de sol contaminés par les hydrocarbures (2 à 3 dixième) qui traduit sans doute l'apparition de faible quantité d'acides résultant soit de l'oxydation des n-alcanes, soit de celle de composés provenant de la rupture de noyaux aromatiques. Tisdale et Nelson, (1977) in Njuko et *al.*, (2009) ont noté que la diminution est due à la production de radicaux acides par nitrification.

Selon les travaux réalisés par Khajehnouri, (2011) sur les propriétés électriques des sols contaminés par les hydrocarbures, a montré que la conductivité électrique du sol contaminé décroît avec l'augmentation de la saturation en hydrocarbure. La conductivité électrique, en principe, sensible à la composition minérale du sol, granulométrie, teneur en eau, chimie du fluide interstitiel, la teneur en métal et le degré de présence d'hydrocarbures. Par contre (Chaineau et *al.*, 1999) note une augmentation de la conductivité électrique que entrainera l'inhibition de certaines plantes très sensibles à la présence des sels.

Conclusion générale

Le présent travail a porté sur l'étude de l'effet des différentes concentrations des carburants (essence et gasoil) sur la croissance de la luzerne, de pois et de la fève, afin d'évaluer leur degré de résistance.

D'après nos résultats, nous pouvons conclure que le gasoil est plus toxique que l'essence, probablement à cause des hydrocarbures les plus lourds qu'il renferme.

En effet, des concentrations du gasoil de l'ordre de 6% et 8% dans le sol ont été toxiques pour les graines de la fève et du pois si bien qu'aucun plant n'a levé. A des concentrations inférieures, la levée des plants a été assez bonne.

Dans le sol contaminé avec l'essence la fève a pu lever même à des concentrations élevées (6% et 8%), par contre le pois n'a pas pu lever à 8%.

Toutefois, la luzerne a pu lever même aux concentrations les plus élevées (6% et 8%) dans le sol contaminé par l'essence et gasoil, mais les plants sont morts après 8 semaines de culture.

Les observations des paramètres de croissance ont montré que la fève est plus résistante par rapport à la luzerne et le pois par ce que la fève peut tolérer même les concentrations les plus élevées (6% et 8%) de l'essence.

La résistance des trois espèces à la pollution par les hydrocarbures n'est pas due à la présence de nodules mais elle peut être due à d'autres facteurs tels que la mycorhization.

Pour toutes les espèces végétales nous avons enregistré une diminution de rendement dans le sol contaminés confirmés par :

- La diminution du taux de levée, de la croissance des plantes, du nombre de feuilles par plant, de la longueur racinaire, du volume racinaire, du nombre de nodules et de la biomasse végétale surtout à partir de la concentration 6%. Cela a été observé en comparant un sol témoin et un sol contaminé par l'essence et le gasoil.

En parallèle ce travail nous a permis de montrer que l'essence et le gasoil ont eu un effet toxique sur les nodules des légumineuses, quelque soit leur concentration.

- Concernant le pH du sol nous avons constaté un pH Légèrement alcalin dans les sols contaminés par les carburants. Ce ci pourrait dû à l'effet de ces derniers sur les propriétés du sol.

Enfin, pour mieux connaître les mécanismes par les quelles les trois plantes (la luzerne, pois et fève) résistent à la toxicité des carburant, il est recommandé de :

Conclusion générale

- De réaliser cette expérience sur le terrain pour mieux évaluer la résistance de ses espèces à cette pollution dans les conditions naturelles.
- Réaliser une étude sur les mycorhizes de sol pour mieux comprendre la résistance de la fève à la pollution par les hydrocarbures.
- Une étude sur la génétique de la fève qui permet la résistance de cette espèce a les concentrations élevées (6%, 8%) dans le sol contaminé par l'essence.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

1. **AIT TAYEB Z. et TITOUCHE. H, 2011.** Toxicité des hydrocarbures vis-à-vis des plantes (*Phaseolus vulgaris* L. et *Cicer arietinum* L.), du sol et essai de phytoremédiation. Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Biologie U.M.M.T.O.68p.
2. **Allen N., Allen K., 1880.** The byuinoaseae: A Source Book of characteristics. Uses and Nodulation. University of Wisconsin Press, Radison. 812 p.
3. **AMRANE H, 2011.**La variation génotypique en H sous déficience en P est-elle liée à la respiration nodulaire sous fixation symbiotique du haricot (*Phaseolus vulgaris*).Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Agronomie. UMMTO. 47p.
4. **ARNAUD P., 2004.** Chimie organique. Edition DUNOD, Paris. 208p.
5. **BARRIUSO E., CALVET R., SCHIAVON M. et SOULAS S., 1996.** Etude et gestion des sols, les pesticides et les polluants organiques des sols, transformation et dissipation. 284 p.
6. **BATTAZ S., 2009.** Etude comparative de la dégradation d'une terre polluée par les hydrocarbures lourds. Mémoire de MAGISTER. Département des sciences fondamentales. Université 20 Août 1955- Skikda.122 p.
7. **BEGBEG A., 2008.** Importance des considérations environnementales dans l'étude des performances des additifs utilisés dans les fluides de forage. Mémoire de magistère en traitement des effluents industriels. Université de bumerdes.69p.
8. **BEIKADI A. ET ISSADI S, 2013.** Effets des hydrocarbures sur le rendement végétal de la luzerne (*Medicago sativa* L.) Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Biologie. UMMTO.45p
9. **BERGUE JM., et MERIENNE D., 1986.** La pollution des sols par les hydrocarbure, 65p.
10. **BERRAMA R., 2004.** Semis direct. Mémoire d'ingénieur d'Etat. INA. EL HARRACH. Alger. 86 p.
11. **BOUBIE V., 2002.** Rôle des légumineuses sur la fertilité des sols ferrugineux tropicaux des zones guinéenne et soudanienne du Burkina Faso.Thèse de doctorat d'université Laval.184 p.

Références bibliographiques

12. **BOUCHNEB N., KHEDDACHE., (2007)** :les légumineuses ligneuses introduites en Algérie, prévalence, abondance et statut symbiotique. Thèse de l'étude en physiologie végétale, université d'Alger : 4.
13. **BOULBABA L., BOUAZIZ S., MAINASSARA Z-A., MOKHTAR H., MOKHTAR L., 2009.** Effets de la fertilisation azotée, de l'inoculation par *Rhizobium* sp. et du régime des pluies sur la production de la biomasse et la teneur en azote du pois chiche .*Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 2009 **13**(4), 537-544.
14. **BONNIER G., (2005)** : Cours de botanique. Paris. p : 894
15. **BRGM(2004)-A. SAADA, C. NOWAK et N. COQUEREAU.** Etat des connaissances sur l'atténuation naturelle des hydrocarbures –Rapport intermédiaire : résultat de la phase 1.Rapport BRGM/RP-53739-FR, 107 pages, 13 fig., 2ann.
16. **BRUNET J. (2008).** Adaptation aux métaux lourds d'une Fabacée (légumineuse) : Réponses phénologique et moléculaire au plomb du *La thyrossativus* L. Thèse de doctorat, l'Université Paris Est-Créteil. CHAUSSES. pp 77-81.
17. **CHANEAU C.H., MORE J.L, et OUDOT J, 1996** .Land treatment of oil-Based drill cuttings in an agricultural soil. *J. Environ. qual.* v25, pp 858-867.
18. **CHANEAU C. H., MORE J.L, et OUDOT J, 1997.** Phytotoxicity and plant uptake of fuel oil hydrocarbon. *J.environ .Quali.*Vol 26. pp 483-1487.
19. **CHANEAU C.H., MOREL J.L et OUDOT J., 2000.**Bioremediation and biodegradation of fuel Oil Hydrocarbure in the rhizosphere of Maise.*J.Environ.Qual.* V295, 569-578.
20. **CHAUX C, FOURY C. (1994)** : production légumineuse, tome 3.légumineuse potagère : Légumes, fruits. Technique et documentation Lavoisier paris cedex 08.pp 24-67
21. **CHAUX F., 2003.** Productions légumières Tome 3, légumineuses potagères, légumes fruits. CL. Foury. 563 p.
22. **ClémentJ.M- 1994.** Le technicien d'agriculture tropicale - les cultures maraîchères - Maisonneuve et Larousse -Larousse Agricole ACCT - CTA - Librairie Larousse 191- France
23. **COLIN F., 2000.** Pollution localisée des sols et sous- sols par les hydrocarbures et par les solvants chlorés. Edition TEC et DOC. 417p.

Références bibliographiques

- 24. CHISTIAN B., 2006.** Marée noires et sols pollués par les hydrocarbures. Edition .paris cedex 15 France 27p.
- 25. CRONQUIST A., 1981.** An integrated system of classification of flowering plants, Columbia University. Press New York. 1262p.
- 26. DAKAR, D. BOUGUSZ, C. FRANCHE, 1986.** La fixation biologique de l'azote : L'ORSTOM ET les recherche fondamentales. 15p.
- 27. DANANCHE et ses collaborateurs ,2007.** Eléments techniques sur l'exposition professionnelle aux carburants et solvants pétroliers –Matrice emplois-expositions aux carburants et solvants pétroliers. Document rédigé ; Département santé travail, institut de veille sanitaire, Saint Maurice.
- 28. DOMMERGUES Y et MANGENOT F., 1970.** Ecologie microbienne du sol. Eds. Masson et Cie. Paris. 796p.
- 29. DUCHAUFOUR P., 1997.** Abrégé de pédologie .Sol, végétation, environnement, (Enseignement des Science de la Terre) ST. 5^e édition. Edition MASSON. 291 p.
- 30. DUCHAUFOUR P., 2001.** Introduction à la science du sol : sol, végétation et environnement. 6^{ème} édition MASSON, Paris Milan Barcelone. 498 p.
- 31. FACCENDINI J-P. 1995.** Caractérisation d'une pollution des sols granulaires par des hydrocarbures issus de la pyrolyse de la houille. Ecole Nationale des Ponts et CHAUSSES. 141p.
- 32. FATTAL P., 2008.** Pollution des cotes par les hydrocarbures. Presse universitaire de Rennes. 498 p.
- 33. FREDERIC P., MELLER, AGNES F., VANDOME, JOHN MC B., 2010.** Hydrocarbure : chimie organique, carbone, Fossile, gaz à effet de serre, pétrole, gaz naturel, liste d'hydrocarbure saturés acycliques, Réaction de Wurtz.
- 34. GAGE D.J., 2004.** Infection and invasion of roots by symbiotic: nitrogen-fixing rhizobia during nodulation of temperate legumes. Microbiology and Molecular Biology Reviews. 68: 280-300.

Références bibliographiques

- 35. GIDDENS J, 1976.** Spent motor oil effects on soil and crops J.Environ Qual. Vol N₂, pp ;179-181.
- 36. HELLER R., ESNAULT R., LANCE C, 2000.** Physiologie végétale : Développement. Ed. Dunod. Paris. 580p.
- 37. Hopkins W G., 2003:** Physiologie végétale. 2^{ème} édition. De Boeck, Bruscelles.476p.
- 38. KICHOU T. et SAHRAOUI H., 2001.** Effet de la température sur la fixation et L'assimilation de l'azote chez le pois chiche. Céréaliculture. N°36. Ed. A.C.T.E.S Rabat. pp 37-43.
- 39. KOLLER E., 2004.** Traitement des pollutions industrielle (eau, air ; déchet, sol, boues). Edition DUNOD. Paris. 424p.
- 40. LUMIER B, JEANNOT R, CHIRON S, avec la collaboration d'AUGUSTIN F, DARMENDRAIL D., 2001.** Guide morphologique pour l'analyse des sols pollués. Edition BRGM, 2001. pp 25.
- 41. MOUAFEK A., 2010.** La symbiose à rhizobia chez la fève (*Vicia faba* L.) et La luzerne (*Medicago sativa* L.) dans la région de Biskra. Mémoire de magister en Agronomie .UNIVERSITE MOHAMED KHIDER – BISKRA –86p.
- 42. MOROT-G. J-F., 1997.** Assimilation de l'azote chez les plantes. Edition:INRA, Paris, 1997.Pp75-90.
- 43. NJOKU, K., AKINOLA. O. et OBOH, B, O., 2009-** Phytoremediation of crude oil contaminated soil. Edition marsland²²press. pp 80-85.
- 44. NORINI M-P. (2007).** Eco dynamique des hydrocarbures aromatiques polycycliques et des communautés microbiennes dans les sols à pollution mixte (HAP, métaux) avant et après traitement par biopile et par désorption thermique. Thèse de doctorat, université Henri Poincaré, Nancy I. pp 75-90.
- 45.OUSMAN D., 1981.**Interaction fertilisation nodulation mycorhisation chez l'aulne.D.E.A sciences naturelles.
- 46. RAMADE F., 2007.** Introduction à l'écotoxicologie. Fondements et applications. Ed et TEC et DOC. Lavoisier. 618 p.

Références bibliographiques

- 47. RIBET J., DREVON J.J., 1996.** The phosphorous requirement of N₂-fixing and urea-fed *Acacia mangium*. *New Phytol.*, pp132, 383-390.
- 48. RIENKE N., JOKE N., 2005.** La culture du soja et d'autres légumineuses. Seconde édition : ISBN Agromisa.75p
- 49. SCHNOOR J.L et MCCUTCHEON S.C., 2003.** Phytoremediation – transformation and
cont Gatellier C., Gudin C. et Rogier Ph., 1974 : Conséquence d'un déversement d'hydrocarbures dans le sol et technique applicable à une réhabilitation, Paris. 165 p.
- 50. SLIMANE K., 1992.** Etude de la Luzerne. Mémoire d'Ingénieur d'Etat. L'INA. EL HARRACH. Alger. 95 p
- 51. SPICHIGER R-E., FIGEAT V., SAVOLAINEN M., JEANMONAD D. (2004).** Botanique systématique des plantes à fleurs. Une approche phylogénétique nouvelle des Angiospermes des régions tempérées et tropicale, 3ème éd. pp 202-204.
- 52. SOLTANI M., 2004.** Distribution lipidique et voies de décontamination métabolique chez quatre bactéries Gram négatives hydrocarbonoclastes. Variation en fonction de la source de carbone. Thèse de doctorat d'univers Paris. 284 p.
- 53. VILAIN M., 1997.** La production végétale : les composantes de la production. Ed. TEC et DOC. 478p
- 54. WANI M.C and WALL M. E.** in alkaloids, chemical and biological perspectives (S.W. Pelletier, ed), Vol. 9 pp. 1-22. Elsevier, New York 1995.
- 55. YVES B., 1974.** Quelque observation microbiologique et physiologique sur la croissance et la nodulation des légumineuses en basse cote d'ivoire .66p
- 56. ZEROUKI R., 2013.** Phytotoxicité des hydrocarbures vis-à-vis de la luzerne, du pois et de la fève. Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Biologie. UMMTO.56p.

Annexes

Annexes

Annexe1 : Résultat de l'analyse de variance et des groupes homogènes avec le test de Newman et Keuls.

Tableau II: Analyse de variance de taux de levé des trois espèces.

Source of variance	Df	SumSq	MeanSq	F value	Pr(>F)
(con)	4	29613	7403.3	13.4854	6.699e-08 ***
(sp)	2	4396	2198.1	4.0039	0.0233219 *
(carb)	1	989	988.8	1.8011	0.1846386

Tableau III: Les groupes homogènes de taux de levé pour le facteur concentration déterminé par le test de Newman et Keuls.

Libelle	Moyenne	Groupe
C4	34.39022	A
C6	16.17212	
C2	16.13938	
C8	-24.82270	B

Tableau IV: Les groupes homogènes de taux de levé pour le facteur espèce déterminé par le test de Newman et Keuls.

Libellé	Moyenne	Groupe
Fève	62.66567	A
Luzerne	50.05533	B
Pois	46.33333	

Annexes

Tableau V : Analyse de la variance de la hauteur des trois espèces contaminées par l'essence et le gasoil.

Source of variance	Df	SumSq	MeanSq	F value	Pr(>F)
(con)	3	5532.5	1844.2	7.8380	0.0008117 ***
(sp)	2	25923.0	12961.5	55.0876	1.073e-09 ***
(carb)	1	580.2	580.2	2.4660	0.1294267

Tableau VI : Les groupes homogènes de la hauteur pour le facteur concentration déterminé par le test de Newman et Keuls.

Libellé	Moyenne	Groupe
C4	21.749958	A
C2	10.935981	
C6	4.044541	
C8	-24.000000	B

Tableau VII : Les groupes homogènes de la hauteur pour le facteur espèce déterminé par le test de Newman et Keuls.

Libellé	Moyenne	Groupe
Luzerne	52.29101	A
Pois	19.25260	B
Fève	-15.07406	C

Annexes

Tableau VIII: Analyse de la variance de nombre de feuille des trois espèces contaminés par l'essence et le gasoil.

Source of variance	Df	SumSq	MeanSq	F value	Pr(>F)
(con)	3	3773.8	1257.9	1.2724	0.306269
(sp)	2	15400.9	7700.4	7.7889	0.002472 **
(carb)	1	1177.8	1177.8	1.1913	0.285898

Tableau IX: Les groupes homogènes de nombre de feuille par plant pour le facteur espèce déterminé par le test de Newman et Keuls.

Libellé	Moyenne	Groupe
Pois	23.99443	A
Luzerne	2.69032	AB
Fève	-13.91561	B

Tableau X: Analyse de la variance de la longueur de la racine principale des trois espèces contaminées par l'essence et le gasoil.

Source of variance	Df	SumSq	MeanSq	F value	Pr(>F)
(con)	3	9027.5	3009.2	4.9930	0.00785 **
(sp)	2	18156.5	9078.3	15.0631	5.776e-05 ***
(carb)	1	2374.4	2374.4	3.9397	0.05870

Annexes

Tableau XI : Les groupes homogènes de la longueur de la racinaire principale pour le facteur concentration déterminé par le test de Newman et Keuls.

Libelle	Moyenne	Groupe
C4	34.39022	A
C6	16.17212	
C2	16.13938	
C8	-24.82270	B

Tableau XII : Les groupes homogènes de la longueur de la racine principale pour le facteur espèce déterminé par le test de Newman et Keuls.

Libellé	Moyenne	Groupe
Pois	46.95179	A
Luzerne	29.94275	
Fève	-5.88562	B

Tableau XIII : Analyse de la variance de volume racinaire des trois espèces contaminées par l'essence et le gasoil.

Source of variance	Df	SumSq	MeanSq	F value	Pr(>F)
(con)	3	923	307.7	0.1288	0.942007
(sp)	2	18164	9082.2	3.8027	0.037428 *
(carb)	1	4854	4853.7	2.0322	0.167428

Tableau XIV : Les groupes homogènes de volume racinaire pour le facteur espèce déterminé par le test de Newman et Keuls.

Libellé	Moyenne	Groupe
Pois	23.97799	A
Fève	21.31402	
Luzerne	-30.60857	B

Annexes

Tableau XV : Analyse de la variance de la biomasse aérienne des trois espèces contaminées par l'essence et le gasoil.

Source of variance	Df	SumSq	MeanSq	F value	Pr(>F)
(con)	3	614.3	204.8	0.1493	0.929098
(sp)	2	18606.4	9303.2	6.7821	0.004839 **
(carb)	1	4838.1	4838.1	3.5270	0.073115

Tableau XVI: Les groupes homogènes de biomasse aérienne pour le facteur espèce déterminé par le test de Newman et Keuls.

Libellé	Moyenne	Groupe
Luzerne	51.108107	A
Pois	6.812169	B
Fève	-3.230927	

Tableau XVII : Analyse de la variance de la biomasse racinaire des trois espèces contaminées par l'essence et le gasoil.

Source of variance	Df	SumSq	MeanSq	F value	Pr(>F)
(con)	3	9591	3197	0.9666	0.425370
(sp)	2	38948	19474	5.8873	0.008617 **
(carb)	1	24144	24144	7.2991	0.012730 *

Annexes

Tableau XVIII : Les groupes homogènes de biomasse racinaire pour le facteur espèce déterminé par le test de Newman et Keuls

Libellé	Moyenne	Groupe
Luzernes	74.85030	A
Fèves	22.07700	B
Pois	-8.46875	

TableauXIX : Analyse de la variance de nombre de nodule des trois espèces contaminés par l'essence et le gasoil.

Source of variance	Df	SumSq	MeanSq	F value	Pr(>F)
(con)	3	6981.9	2327.31	2.3773	0.09496
(sp)	2	1230.4	615.21	0.6284	0.54198
(carb)	1	217.7	217.65	0.2223	0.64153

Tableau XX : Analyse de la variance du pH du sol contaminés par l'essence et le gasoil.

Source of variance	Df	SumSq	MeanSq	F value	Pr(>F)
(con)	4	0.37427	0.093568	2.5715	0.04678 *
(sp)	2	0.01664	0.008321	0.2287	0.79627
(carb)	1	0.18045	0.180454	4.9594	0.02971 *

Tableau XXI : Les groupes homogènes de pH pour le facteur concentration déterminé par le test de Newman et Keuls.

Libelle	Moyenne	Groupe
C2	7.681111	A
C4	7.657778	AB
C6	7.620556	
C0	7.606667	
C8	7.494444	B

Annexes

Tableau XXII : Analyse de la variance de la conductivité des trois espèces contaminées par l'essence et le gasoil.

Source of variance	Df	SumSq	MeanSq	F value	Pr(>F)
(con)	4	0.04028	0.0100706	0.9708	0.43026
(sp)	2	0.02610	0.0130478	1.2578	0.29166
(carb)	1	0.00642	0.0064178	0.6187	0.43463

Annexe 2 : norme des Mémento de l'agronome (1993)

Tableau XXIII : Valeur de référence de pH

Valeur de pH	Quantification
<4,5	Extrêmement acide
4à5	Très fortement acide
5,1à5,5	Fortement acide
5,6à6,5	Faiblement acide
6,6à7,3	Neutre
7,4à7,8	Légèrement alcalin
7,9à8,4	Moyennement alcalin
8,5à9	Fortement alcalin
≥9,1	Très fortement alcalin

Tableau XXIII : Valeur de référence de la conductivité électrique

Valeur de C.E (ms/cm)	Quantification du sol
< 0,6	Non salé
0,6à1,6	Peut salé
1,6à2,2,4	Salé
2,4à6,0	Très salé
>6	Extrêmement salé