REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou
Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques
Département de Biologie

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Spécialité : Biodiversité et Environnement

Thème

Effet de la pollution du sol aux hydrocarbures sur la germination, le taux de survie et la croissance de *Pistacia lentiscus* L.

Présenté par :

AOUCI Nouara

KANOUN Safia

Soutenu le : 29-12-2020

Devant le jury :

Présidente: Mlle Daoudi H.	M.C.B. à L'U.M.M.T.O.
Promotrice : Mme Chehrit-Hacide F.	M.C.B. à L'U.M.M.T.O.
Examinateur : Mr Medjebeur D.	M.C.B. à L'U.M.M.T.O.

Remerciements

Avant tout, on remercie Dieu de la volonté, de la santé et de la patience qui m'ont guidé tout au long de ces années d'études afin que je puisse en venir à ce point.

Nous tenons par la suite à exprimer nos vifs remerciements, notre reconnaissance et notre profonde gratitude à notre promotrices Mme Chehrit-Hacid F., maitre de conférence à L'U.M.M.T.O pour son encadrement scientifique, son orientations, ses précieux conseils, son soutien et son encouragements tout au long de notre travail.

Nous tenons à remercier également les membres du jury qui nous ont fait l'honneur d'examiner ce travail ;

À la présidente Mlle Daoudi H., maitre-assistante au département de Biologie à l'U.M.M.T.O.

À Mr Medjeber D., maitre de conférence à L'U.M.M.T.O pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Merci également à toutes les personnes travaillant au laboratoire Pathologie des écosystèmes en particulier Mme Abrous-H et Mr Dhib-Dj et Mme Hélefie-N technicienne au laboratoire d'Ecopédologie où nous avons réalisé la plus grande partie de notre travail.

Enfin, nous remercions tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire.

Dédicace

Ce rapport achevé avec l'aide de dieu le tout puissant, est dédié à toutes personnes que j'aime :

À la mémoire de mon cher grand-père qui a toujours voulu me voir en haut, ton visage, ton sourire, tes belles paroles, tes questions me manques énormément ;repose en paix.

À la lumière de mes yeux, l'ombre de mes pas et le bonheur de ma vie ma mère Ourdia, qui m'a apporté son appui durant toutes mes années d'étude, pour son sacrifice et soutien qui m'ont donné confiance, courage et sécurité, pour son affection, sa patience, sa compréhension et sa disponibilité.

À mon cher père Rabah, mon modèle de persévérance pour aller toujours de l'avant et ne jamais baisser les bras. Pour son sacrifice, son tendresse, ses conseils et ses encouragements.

À mes sœurs et frères : Maissa, Sara, Salim et Youva à qui je souhaite beaucoup de réussite dans leurs vies.

À ma tante Fatiha, Les mots ne suffisent guère pour exprimer l'attachement, l'amour et l'affection que je porte pour toi, tu es ma fidèle accompagnante dans les moments les plus délicats.

À ma très chère grand-mère Chabha que j'aime beaucoup.

À ma binôme Sophy et toute sa famille.

À tous mes Amis (es).

À mes camarades de la promotion « Biodiversité et Environnement 2019».

À la mémoire de toutes les personnes que j'ai perdu.

Nouara

Dédicace

Ce travail achevé avec l'aide de dieu, le tout puissant est dédié à toutes personnes que j'aime. À mes très chers parents, qui n'ont jamais cessé de me témoigner leur affection et de m'apporter leurs soutiens depuis toujours. Leurs encouragements, consentis dans le souci de ma réussite.

À une fleur qui ne fanera jamais dans mon cœur, à une grande dame qui a su faire de moi la femme que je suis, à toi ma chère mère.

À celui qui m'a toujours encouragée à continuer à combattre les périls de la vie ; celui qui a tant sacrifié et qui continue à sacrifier pour moi, sans lui je ne serais pas ce que je suis, à toi mon cher père.

À mes très chers frères Saiid, Syphax et Gaya.

À ma très chers soeur Alycia.

À ma très chère grand-mère Faroudja que j'aime beaucoup.

À la mémoire de mes grands-parents.

À tous mes amis (es) :surtout à ceux qui sont loin de moi en ces moments.

À mon amie et binôme Nouara et sa famille ; A tous mes camarades de la promotion « Biodiversité et Environnement 2019 ».

Sophy can

Liste des abréviations :

BSA **:** Biomasse de Système Aérien.

BSR **:** Biomasse de Système Racinaire.

BTEX : Benzène, Toluène, Éthylbenzène et Xylènes.

C : Carbone.

DDT : Dichlorodiphényltrichloroéthane.

EMA : Agence européenne des médicaments.

GGBP : Graines Germés dans les Boites de Pétris.

H : Hydrogène.

HAP : Hydrocarbures Aromatiques Polycyclique.

HC : Hydrocarbures.

TMG : temps moyen de germination.

HSA : Hauteur de Système Aérien.

LSR : Longueur de la racine principale.

NGG : Nombre de Graines Germées.

OGM : Organismes Génétiquement Modifiés.

PCB : Polychlorobiphényles.

PL : *Pistacia lentiscus.*

ST : sol témoin.

SP : Sol Pollué.

IG : Indice de germination.

ACP : Analyse en composante principale.

Liste des figures :

Figure 01 : Diagramme schématique des fonctions du sol.....4

Figure 02 : Arbuste de *Pistacia lentiscus* L.....12

Figure 03 : Aire de distribution de *P. lentiscus* L 13

Figure 04: Inflorescences de P. lentiscus (station Azeffoun) A : inflorescences mâles, B : inflorescences femelles.....14

Figure 05 : Feuilles et fruits du *P. lentiscus*.....14

Figure 06 : Présentation de la station d'échantillonnage 16

Figure 07: Taux de levés de *P. lentiscus* dans le sol pollué et le sol témoin.....20

Figure 08: les différentes parties des Plantules de *P. lentiscus* après 6 mois de croissance sur sol témoin (a) et sur sol pollué (b)……..……..21

Figure 09 : La hauteur et la biomasse sèche du système aérien de *Pistacia lentiscus* dans le sol pollué (SP) et le sol témoin (ST)……..…...……22

Figure 10 : La longueur et biomasse sèche du système racinaire de *Pistacia lentiscus* dans le sol pollué et le sol témoin..…….……23

Figure 11:Analyse en composante principale des paramètres physiologiques et biométriques de *P. lentiscus* cultivé dans les sols pollué et non pollué (projection des variables).…….……27

Figure 12 : Analyse en composante principale des SP, ST et les paramètres physiologique et biométriques de *P. lentiscus* (projection des individus)…..……27

Liste des tableaux :

Tableau I: les résultats du test Mann-Whitney pour le taux de germination.....20

Tableau II: les résultats du test Mann-Whitney pour HSA et BSA.....22

Tableau III: les résultats du test t (test Student).....23

Tableau IV : Matrice des corrélations entre variables.....28

Tableau V : Récapitulatif des effets des hydrocarbures sur le lentisque 28

Table des matières

Table des matières :

Liste des abréviations
Liste des figures
Liste des tableaux
Introduction générale.....1

Chapitre I : Synthèse bibliographique

I. Les divers aspects de la biodiversité.....3
I.1. La richesse spécifique de l'écosystème.....3
I.2. Les valeurs de la biodiversité.....3
I.3. L'écosystème du sol.....3
I.4. Importance du sol dans la biosphère.....3
II. Types de pollutions.....4
- Pollution du sol.....5

II.1. Impact de la pollution sur la biodiversité.....5
II.2. de pollution ponctuelle du sol aux hydrocarbures.....6
- Cas des stations-services.....6

II.2.1. Généralités sur les hydrocarbures.....7
II.3. Devenir des hydrocarbures pétroliers dans le sol.....7
II.3.1. Volatilisation.....7
II.3.2. La sorption.....8
II.3.3. Solubilisation.....8
II.3.4. Dégradation.....8
II.4. Les impacts de la pollution aux hydrocarbures sur l'environnement.....8
II.4.1. Impact sur le sol.....9
II.4.2. Impact sur la flore.....9
II.5. Réhabilitation des sols pollués aux hydrocarbures.....9
II.6. Méthodes de dépollution.....10
II.6.1. Traitements biologique.....10
II.6.1.1. La phytoremédiation.....10
II.6.1.2. Les différentes techniques de la phytoremediation.....10
II.6.1.2. 1. La phytostabilisation.....10

II.6.1.2.2. La phytoextraction.....10
II.6.1.2.3. La Phytovolatilisation.....11
II.6.1.2.4. La Phytodégradation 11
II.6.1.2.5. La Rhizodégradation.....11
II.6.1.3. Les avantages de la phytoremédiation.....11
II.6.1.4. Le potentiel de phytoremediation.....11
III. Généralité sur Pistacia lentiscus.....12
III.1. Position systématique.....13
III.2. Caractéristiques biologiques.....13
III.2.1. Caractéristiques physiologiques.....14
III.3. L'importance du lentisque.....14

Chapitre II : Matériels et méthodes

I. Matériels et méthodes 16
I.1. Description géographique de la station..... 16
I.1.1. Relief et pentes..... 16
I.1.2. Végétation 16
I.2. La récolte et préparation du fruit 16
I.3. Prélèvement et préparation du sol..... 16
I.3.1. Présentation de la zone d'échantillonnage..... 17
I.4. Test préliminaire : semis des graines du lentisque dans les boîtes de pétris..... 17
I.5. L'effet de la pollution du sol aux hydrocarbures sur le lentisque..... 17
I.5.1. L'effet sur les levés et la survie 18
I.5.2. Effet sur la croissance 18
➢ Les paramètres mesurés.....18
- Le taux de levés.....18
- La vitesse de germination.....18
- L'indice de germination 18

I.6. Analyse statistiques..... 19

Chapitre III : Résultats et discussions

I. Germination des graines de *P. lentiscus* dans les boîtes de pétri. 20
I.1. Résultats 20
I.2. Discussion 20
II.. Résultats du Test de phytotoxicitie des hydrocarbures 20

II.1. Effet de la pollution aux hydrocarbures sur les levés et la survie du lentisque 20
II.1.1. Effet sur les levés 20
II.1.2. Effet sur la mortalité 21
II.2. Effet de la pollution aux hydrocarbures sur la croissance du lentisque 21
II.2.1. Effet sur le système aérien 21
II.2.2. Effet sur le système racinaire 22
II.2.3. Discussion 23
II.3. Corrélation entre la projection des variables et la projection des individus 26
Conclusion et perspectives 29

Liste des références bibliographiques

Annexes

Résumé

Introduction générale

La biodiversité joue un rôle important dans le fonctionnement des écosystèmes et dans les services qu'elle fournit, qui sont définis comme les processus et les conditions des systèmes naturels qui soutiennent l'activité humaine (Singh *et al*., 2006 *in* Rawat & Agarwal, 2015). La perte de la diversité biologique est essentiellement liée aux activités humaines, par les cinq principales pressions qui sont la modification des habitats, la surexploitation, l'introduction d'espèces exotiques envahissantes, les changements climatiques et les pollutions, locales et globales (pollution des nappes phréatiques, des mers et océans ; rejets industriels…) qui contribuent directement à l'érosion de la diversité biologique (Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2010).

Depuis l'aube de l'ère industrielle, l'exploitation humaine des gisements de pétrole n'a cessé d'augmenter. Les polluants pétroliers principalement les hydrocarbures, figurent parmi les polluants qui ont plus d'impacts. Ils polluent la nature suite aux fuites lors de leurs utilisations dans plusieurs activités telles que le transport, le stockage, le pompage et le remplissage dans les stations-services qui sont une source importante de pollution accidentelle et ponctuelle des sols qui sont répandues dans l'espace (colin, 2000). Cette pollution est susceptible d'entrainer une bioaccumulation dans la chaine alimentaire présentant des toxicités pour le végétal, l'animal et des risques pour la santé humaine (Soltani, 2004).

La contamination du sol par les hydrocarbures peut influencer l'équilibre écologique et parfois entrainer la destruction des écosystèmes ainsi l'érosion de la biodiversité (Yuniati, 2018). Il est donc urgent de contrôler la pollution du sol afin de préserver sa fertilité, sa productivité (Havugimana *et al*., 2017), les organismes qui y vivent et protéger ainsi la biodiversité en respectant les critères du développement durable ; ce dernier est l'une de nos préoccupations majeures, il a été défini pour la première fois en 1987 comme « un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs » (Giddings *et al.*, 2002).

La dépollution des sols s'impose à cause de l'écotoxicité et les implications potentielles des hydrocarbures pétroliers sur la santé environnementale et humaine qui suscite un intérêt accru pour le développement des méthodologies de décontamination, les méthodes physiques et chimiques présentent plusieurs inconvénients dont le coût élevé et la détérioration du milieu. Les méthodes biologiques représentent une alternative précieuse pour l'élimination des substances toxiques en raison de son respect à l'environnement, sa simplicité technologique et la conservation de la texture et des caractéristiques du sol (Agarry & Ogunleye, 2012). La bioremediation est une technologie durable et économique pour maximiser la métabolisation des polluants organiques et minimiser leurs effets néfastes ; elle s'effectue en utilisant des micro-organismes principalement des bactéries, des champignons ou des plantes (Koshlaf & Ball, 2017). La phytoremediation est l'une des technologies de la bioremediation qui utilise des plantes pour restaurer les sols contaminés, cette technique est actuellement la plus utilisée car les installations d'espèces phytorestauratices peuvent promouvoir la biodiversité, accélérer la restauration des écosystèmes perturbés et améliorer l'esthétique des friches industrielles ou d'autres sites contaminés et donnent un aspect

agréable (Amanda, 2006). Certains végétaux contribuent à la dégradation des polluants organiques directement ou indirectement en permettant, de soutenir la croissance microbienne, d'absorber des contaminants hydrocarbonés contenus dans le sol via leurs racines et de les accumuler (Solomon *et al.*, 2018). Il est donc important de sélectionner des espèces tolérantes à la pollution, c'est dans cette optique que s'inscrit notre travail.

Le pistachier lentisque est une espèce autochtone, très répandue en nord d'Algérie, très utilisée pour la restauration forestière dans la zone méditerranéenne et tolérante à la sècheresse ; sa résine est ses huiles essentielles sont très utilisé dans plusieurs applications industrielles, pharmaceutiques, alimentaires. Bacchetta *et al.* (2012) et Elgubbi *et al.* (2017), ont montré dans leurs études que *P. lentiscus* à la capacité d'absorber et d'accumuler les métaux lourds dans ces différentes parties et s'est avéré être une espèce appropriée pour la phytostabilisation et la restauration d'un environnement altéré.

L'objectif du présent travail consiste à étudier l'effet de la pollution du sol aux hydrocarbures sur les levés, la survie ainsi que la croissance de *Pistacia lentiscus* ; plus spécifiquement de calculer le taux de levés, le taux de mortalité des plantules et de déterminer la hauteur des des tiges principales, la longueur des racines principales ainsi que la biomasse sèche de système aérien et racinaire des plantules.

Le présent mémoire se subdivise en trois chapitres :

- Le premier est consacré aux rappels bibliographiques sur la pollution du sol par les hydrocarbures et leurs impacts sur la biodiversité dont les propriétés du sol et les caractéristiques du végétal. Le rôle de la phytoremediation a été également signalé dans cette partie bibliographique.
- Le deuxième consiste en la présentation de l'ensemble du matériel ainsi que les différentes méthodes et protocoles utilisés dans notre expérimentation.
- Le troisième chapitre est consacré à la présentation et la discussion des résultats obtenus. Le mémoire se termine par une conclusion et quelques perspectives de recherche.

Chapitre I : Synthèse bibliographique

I. Les divers aspects de la biodiversité

La biodiversité est l'ensemble des êtres vivants (micro-organismes, plantes, champignons ou animaux) et les interactions qui relient entre eux et avec le milieu où ils vivent (Rawat & Agarwal, 2015). Elle comprend trois niveaux de variabilités biologiques :

- La diversité génétique : recouvre la diversité des gènes de tous les organismes vivants ;
- La diversité spécifique : comprend toutes les espèces sur terre formant la biocénose, incluant les organismes unicellulaires et les organismes pluricellulaires (Hooper *et al.*, 2005 ; Primack *et al.*,2012) ;
- La diversité écosystémique : comprend la variété des habitats et des communautés biotiques ainsi que les interactions des différentes communautés avec l'environnement physique via des flux de matières et d'énergie ainsi que les processus écologiques dans la biosphère (Wilson, 1993 ; Primack *et al.*, 2012 ; Rawat & Agarwal, 2015).

I.1 La richesse spécifique de l'écosystème

La richesse en espèces désigne le nombre d'espèces d'un taxon particulier qui caractérise une communauté biologique, un habitat ou un type d'écosystème particulier (Ricklefs & Miller, 2005 ; Colwell, 2009), est une mesure de la composition quantitative d'un peuplement (Barbault, 1992), qui donne aux écologistes un aperçu sur la stabilité des communautés (Hamilton, 2005).

I.2 Les valeurs de la biodiversité

La biodiversité joue un rôle important dans le fonctionnement des écosystèmes et dans les services qu'elle fournit. Les services écosystémiques sont définis comme les processus et les conditions des systèmes naturels qui soutiennent l'activité humaine (Singh *et al.* 2006 *in* Rawat & Agarwal, 2015). La prospérité des sociétés humaines et leurs activités sont en effet intimement liées aux ressources et aux bénéfices qu'elles tirent des écosystèmes, que ce soit directement (nourritures, fibres, quantité et qualité des eaux…) ou indirectement (stabilisation des sols, prévention des inondations, régulation du climat, biodiversité comme source d'innovation agronomique, biomédicale et biotechnologique…) (Myers, 1996 ; Baptist *et al.*, 2018).

I.3 L'écosystème du sol

Il est considéré comme la terre fine qui couvre la surface terrestre en raison de l'altération sur place des matériaux rocheux ou l'accumulation de matière minérale transportée par l'eau, le vent ou la glace (Nortcliff *et al.*, 2006) ; l'expression "écosystème du sol" correspond plus proprement à un système endogé qui seulement, par intégration avec un système épigé donnera lieu à un écosystème terrestre autosuffisant et autorégulé (Di Castri, 1967). La particularité du sol est que à cette matière minérale altérée est ajoutée une matière organique (Nortcliff *et al.*, 2006).

I.4 Importance du sol dans la biosphère

Les sols sont des écosystèmes complexes (Union Européenne, 2010) ; fortement réticulés aux autres compartiments environnementaux (eau et air), en raison de ces liens par des interactions de grandes portées à travers lesquelles les sols ont une fonction de médiateur

écologique importante. En ce qui concerne les processus de transport de matières, les sols peuvent être à la fois des sources et des puits (Nortcliff *et al.*, 2006).

Les sols jouent un rôle essentiel dans la fourniture des services écosystémiques (FAO, 2015) (figure 01), tels que la production agricole et forestière, la protection contre l'érosion et les inondations, le stockage de l'eau, la fixation du carbone atmosphérique et de l'azote (Ponge, 2015) ; il sert de plate-forme pour les activités humaines, constitue un élément du paysage et du patrimoine et joue un rôle central en tant qu'habitat et réservoir génétique (Union Européenne, 2010). La disponibilité et les flux des ressources du sol ainsi que sa structuration en tant qu'habitat sont des déterminants majeurs de l'identité et de l'activité des organismes vivants, en particulier les plantes (Freschet *et al.*, 2018).

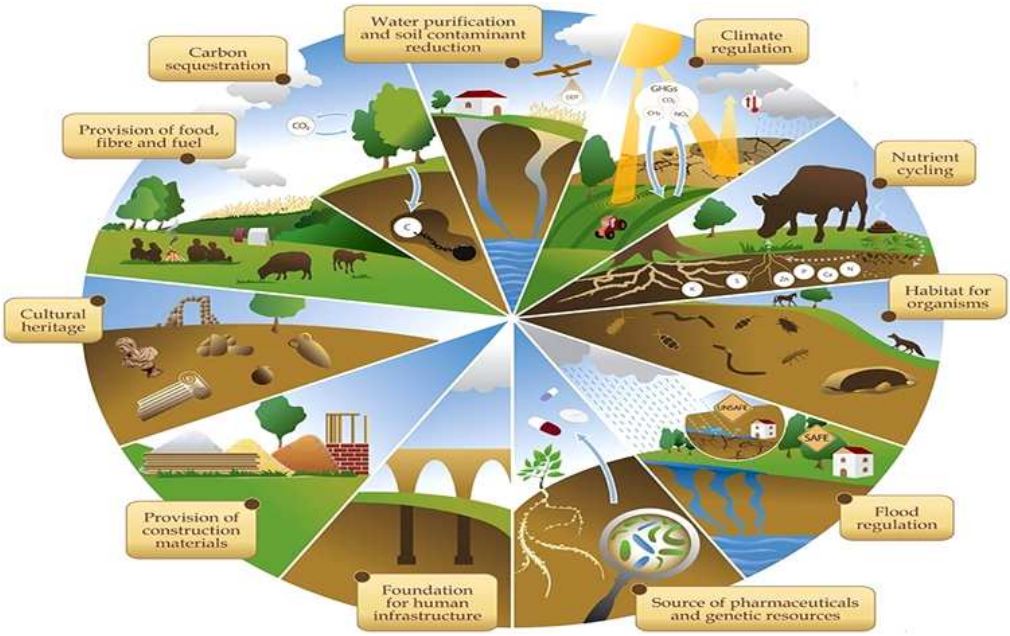

Figure 01 : Diagramme schématique des fonctions du sol. (Source : FAO, 2015).

II. Types de pollutions

On peut classer les pollutions, prenant en considération le milieu pollué (Atmosphère, Hydrosphère, sol) et les espèces qui y vivent. La classification la plus commode est celle de grouper les agents polluants selon leurs natures (Ramade, 2012):

- **La pollution Physique**: rayonnements ionisants, pollutions sonores, réchauffement artificiel d'un milieu dû à une source de chaleur technologique ;
- **La pollution Chimique** : substances minérales, organiques ou de nature biochimique générées par les différentes activités anthropiques dans l'environnement. Dans ce type de pollution regroupe les solvants, les métaux, les hydrocarbures aromatiques polycyclique (HAP), les Polychlorobiphényles (PCB), les produits pharmaceutiques, les sels etc.… (Rao *et al.*, 2010) ;
- **La pollution biologique** : micro-organismes pathogènes, populations d'espèces exotiques invasives ou introduites par l'homme et l'introduction des organismes génétiquement modifiés (OGM) (Zuffrey & Febbraro, 2005).

➢ **Pollution du sol**

La pollution du sol est définie comme l'accumulation des composés toxiques persistants tels que les produits chimiques, les sels, les matières radioactives ou les agents pathogènes dans le sol qui ont des effets néfastes sur la croissance des plantes et la santé animale (Okrent, 1999). Un polluant du sol est tout facteur qui détériore la qualité, la texture et la teneur en minéraux du sol ou qui perturbe l'équilibre biologique des organismes du sol (Havugimana *et al.*, 2017), ces effets dépendent de la concentration du polluant et du type de pollution (Atlas, 1975 *in* Kisic *et al.*, 2010). L'homme utilise le sol de plus en plus comme un puits de polluants depuis la révolution industrielle. La pollution du sol peut être diffuse ou ponctuelle.

- **La pollution diffuse :** survient sur de grandes surfaces du sol, elle provient généralement d'épandage de produits solides ou liquides (l'emploi d'engrais ou de pesticides en agriculture) ou de retombées atmosphériques (Barriuso *et al.*, 1996). La dispersion et l'accumulation de substances dangereuses sur ces sols donne ainsi des « sites uniformément contaminés » (NF ISO 11074-1, 1997. *in* Carnicer & Victoria, 2007).

- **La pollution ponctuelle** : elle se distingue par la présence ponctuelle dans les sols et sous-sols des substances dangereuses provenant généralement de déversement, de fuite ou de dépôt des déchets non confinées et en fortes concentrations (Barriuso *et al.*, 1996) ; ces substances donnent naissance à des sites localement contaminés (NF ISO 11074-1, 1997. *in* Carnicer & Victoria, 2007).

La croissance démographique, le développement industriel et économique ces dernières décennies, ont accru la consommation d'énergie pétrochimique en particulier les hydrocarbures (Zairi *et al.*, 2002 ; Koshlaf & Ball, 2017). Le déversement incontrôlé des produits industriels par les fuites des réservoirs de stockages, du lessivage de déchets des décharges ou des rejets directs des déchets industriels dans le sol (Solano *et al.*, 2001 ; ONU / PE, 2001) ; peuvent entraîner une pollution locale ou diffuse dramatique (Álvarez *et al.*, 2015).

II.1 Impact de la pollution sur la biodiversité

La pollution est l'introduction de contaminants dans l'environnement et peut également être définie comme un changement indésirable des caractéristiques physiques, chimiques et biologiques de l'air, de l'eau et du sol qui affecte l'activité de tous les organismes (Toccalino & Norman (2006) *in* Havugimana *et al*., 2017). Les polluants peuvent être des solides, des liquides ou des gaz nocifs produits à des concentrations plus élevés que leurs concentrations habituelles et qui réduisent la qualité de notre environnement (Manisalidis *et al*., 2020). Certaines activités humaines (industrie, urbanisation) peuvent conduire à la détérioration de la biodiversité à travers une dégradation chimique et/ou physique des milieux (Baptist *et al.*, 2018) ; les individus réagissent ainsi au niveau physiologique, biochimique et moléculaire aux conditions changeantes de leurs environnements (Lavorel *et al.*, 2017).

L'érosion de la biodiversité peut provoquer la perte des services écologiques. Dans un écosystème soumis à diverses perturbations, des modifications vont être observées sur la

structure et le fonctionnement écosystémique dont la perte des valeurs esthétiques, changement de biomasse ou de productivité, modification de la composition spécifique. En effet la perte d'habitat, les perturbations des réseaux trophiques et les variations des conditions environnementaux macro et microclimatiques provoquent le plus souvent une diminution du nombre d'espèces présentes localement, ainsi que le remplacement de certaines espèces par d'autres ayant des caractéristiques écologiques différentes (Duffy 2003 ; Mantyka-pringle *et al.*, 2011). La perte d'espèce primaire peut entraîner des extinctions d'espèces en cascade, dues aux interactions établies entre les espèces du réseau dont elle implique en effet une perturbation dans les flux de gènes et une dérive génétique (Féral & Tatoni, 2011). La contribution d'autres organismes est toutefois essentielle pour maintenir un fonctionnement et une résilience des écosystèmes corrects (Lopez, 2016). Les modifications dans la composition d'espèces ou dans les flux biogéochimiques dans un écosystème peuvent perturber son équilibre, déclenchant alors un changement de régime et conduisant l'écosystème à un état différent avec des propriétés nouvelles (Sundstrom *et al.*, 2012).

La perte de diversité dans les communautés végétales peut limiter le recrutement des plantes et épuiser leurs productivités, ce qui entraînera des effets transitoires sur le fonctionnement de l'écosystème (Symstad *et al.*, 2000).

II.2 Sources de pollution ponctuelle du sol aux hydrocarbures

En milieu urbain et périurbain, la dégradation de la qualité des sols peut avoir de nombreuses origines telles que l'activité industrielle et certains activités artisanales ou l'utilisation de sous-produits industriels en remblai (Béchet *et al.*, 2011).

La pollution ponctuelle du sol est causée par les activités des stations-services et cela à travers des ilots de pompe, des cuves de stockage, des points de remplissage, des évents de citernes, des séparateurs d'hydrocarbures et des canalisations entre les citernes et ilots de pompes. Elle est également causée par les activités des maisons familiales par l'utilisation des produits désherbants ou anti ravageurs (jardinage), par les vidanges automobiles et les produits d'entretien et bricolage (garage), les citernes mazout et les fosses septiques mal conçues et d'autres sources telles que les anciennes décharges, dépôts clandestins et les stations d'épuration (Carnicer & Victoria, 2007).

- **Cas des stations-services**

La station-service est une source importante, de pollution urbaine et de potentielle de nuisance (trafic, bruit, pollution atmosphérique, pollution du sol et des eaux) pour le voisinage direct, mais aussi pour l'environnement en général (Patej, 2002). Dans une station-service on manipule du carburant (essence ou diesel), qui présente un risque vu le stockage et la manipulation de ces produits hautement polluants pour le sol et en raison des déversements accidentels dans les cuves de détaillants (Gallego *et al.*, 2001 ; Hilpert *et al.*, 2015). Une pollution chronique peut se produire sur une longue période et étant due le plus souvent à la corrosion des cuves et des canalisations enterrées ; de l'autre côté la pollution accidentelle due aux déversements d'hydrocarbures lors de remplissage des réservoirs de stockage de la station ou de la distribution du carburant (Patej, 2002). D'après Colin (2000), la pollution par les HC (hydrocarbure) légers couramment commercialisés (essence, kérosène, gasoil, solvants) est

très fréquente du fait de leur utilisation généralisée. Les stations-services contribuent donc en grande partie à la pollution ponctuelle (BOFAS, 2004).

II.2.1 Généralités sur les hydrocarbures

Le pétrole brut est la plus importante source d'énergie dans le monde ; il est parmi les mélanges les plus complexes des composés organiques qui sont produits sur terre. Il contient une large gamme de composés tels que les HC (Hassanshahian & Cappello, 2013 ; Hamoudi-Belarbi, 2018). Sa composition en HC dépend de l'origine du pétrole brut et les conditions de raffinage. Les HC sont des molécules composées d'atomes de carbone (C) et d'hydrogène (H), leurs formule brute est CnHm (Fattal, 2008 ; Le corfec, 2011). Ils peuvent être classés en quatre familles principales qui sont présentes en proportions variables selon leurs origines: les hydrocarbures saturés (30 à 70 %), les hydrocarbures aromatiques et polyaromatiques (20 à 40 %), les composés polaires (5 à 25 %) et les asphaltènes (0 à 10 %) (Soltani, 2004) ; sont des produits chimiques très importants pour l'humanité de part leur abondance ainsi que leurs potentielle en énergie (Gaudu, 2014).

II.2.1.1 L'essence

L'essence correspond à un liquide incolore ou coloré en jaune ayant une odeur caractéristique. Il contient environ 230 hydrocarbures individuels (de 4 C à 10 C) de 6 classes principales dont 9% de n-alcanes, 35% d'isoalcanes, 2% de cycloalcanes, 4% d'alcènes, 14% des composés aromatiques et 36% de BTEX (Benzène, Toluène, Éthylbenzène et Xylènes) (Marchal *et al.*, 2003).

II.2.1.2 Le gazole

Le gazole est un liquide incolore ou légèrement coloré en jaune présentant une odeur de pétrole et se compose de 2000 à 4000 molécules d'HC (de 10 C à 28 C) dont 46 % d'isoalcanes et cycloalcanes, 30% de composés aromatiques et 24% de n-alcanes (Marchal *et al.*, 2003).

II.3 Devenir des hydrocarbures pétroliers dans le sol

Les hydrocarbures pétroliers déversés dans le sol sont soumis à des mécanismes de perte qui comprennent des processus physiques abiotiques tels que le lessivage et l'adsorption sur la matrice du sol (Ausma *et al.*, 2002). D'autres altérations peuvent impliquer des transformations physiques (dispersion), physiochimiques (évaporation, dissolution, sorption), chimiques (photo-oxydation, auto-oxydation) et biologiques (catabolisme végétal et microbien des hydrocarbures) (Truskewycz *et al.*, 2019). Les intempéries peuvent avoir un impact important sur le potentiel de dégradation du pétrole ; le degré et le type d'altération seront différents d'un site à l'autre (Truskewycz *et al.*, 2019).

II.3.1 Volatilisation

La volatilité est un paramètre particulièrement important pour l'exposition aux produits pétroliers. La volatilisation dépend de la pression de vapeur de chaque composé, des gradients de concentration du produit dans le mélange initial, de la composition même de ce mélange ainsi que d'autres paramètres physiques comme les conditions de température, la pression

atmosphérique, le brassage et l'humidité (Picot *et al.*, 2013). La plupart des HC présentent une volatilité qui dépend également du nombre d'atomes de carbone et du type d'hydrocarbure en générale les HC légers (C5 à C12) sont volatils et les plus lourds (C12 à C26) sont volatils ou semi-volatiles (Lemière *et al.*, 2001). La volatilisation se produit non seulement sur les HC de surface mais elle peut aussi se produire dans le sous-sol (Truskewycz *et al.*, 2019).

II.3.2 La sorption

Les hydrocarbures pétroliers sont soumis à des sorptions par le sol organique et les composés minéraux. Leurs intensités à l'accumulation dans le sol sont liées à la texture de ce dernier et ainsi amélioré à la forte teneur en matière organique. L'accessibilité de ces polluants pour la biodégradation est significativement réduite (Zhang *et al.*, 2012 *in* Gennadiev *et al.*, 2015).

II.3.3 Solubilisation

La solubilité des hydrocarbures dans l'eau augmente avec la polarité des composés, et diminue lorsque la chaine d'hydrocarbures ou le nombre de cycle aromatique augmente. Ce mécanisme a aussi montré une diminution logarithmique avec l'augmentation du point d'ébullition de ces composés et dépend aussi de la composition des HC pétroliers en l'huile, de la salinité, de la température et la sorption des HC dans le sol (Truskewycz *et al.*, 2019).

II.3.4 Dégradation

Les composés pétroliers dans le sol ou le sous-sol peuvent aussi être dégradés par des processus biotiques ou abiotiques (Roger & Jacq, 2000).

II.3.4.1 Dégradation abiotique

Certains hydrocarbures peuvent être dégradés par photolyse en présence de la lumière, d'une manière photochimique par des réactions capables de modifier certaines propriétés physiques des contaminants (solubilité dans l'eau, toxicologiques…) (Nicodem *et al.*, 1997 *in* Van der Heul, 2009). Ainsi dans la phase aqueuse, ces polluants sont soumis à des décompositions chimiques par oxydation ou par hydrolyse (Roger & Jacq, 2000).

II.3.4.2 Dégradation biotique

La biodégradation est le principal processus qui élimine les HC pétroliers de l'environnement (Truskewycz *et al.*, 2019). Celle-ci dépend de la présence de microorganismes aptes à la biodégradation de ces contaminants et les facteurs de croissance (oxygène, les nutriments…) qui influent sur la dynamique des microorganismes, elle est donc favorisée en présence d'oxygène (Atlas, 1985 *in* Al-Hawash *et al.*, 2018).

II.4 Les impacts de la pollution aux hydrocarbures sur l'environnement

Les produits pétroliers du fait de leurs utilisations massives, constituent l'un des groupes les plus courants de contaminants organiques qui touchent le sol et les aquifères (Solano *et al.*, 2001). Ces polluants induisent des altérations écologiques, principalement la perte d'organismes clés d'une communauté et la prolifération d'espèces opportunistes au sein des habitats affectés (ITOPF, 2013).

II.4.1 Impact sur le sol

La contamination par les hydrocarbures peut affecter les propriétés physiques et chimiques du sol comme la température et le pH (Aisblabi *et al.*, 2004 *in* Wang *et al.*, 2013) ; elle provoque généralement un environnement anaérobie en bloquant la diffusion de l'air dans les pores du sol et affecte ainsi les communautés microbiennes qui y vivent (Sutton *et al.*, 2003 *in* Wang *et al.*, 2013) et empêche l'infiltration d'eau qui est nécessaire à la croissance des plante (Ruley *et al.*, 2019).

II.4.2 Impact sur la flore

Le phénomène de toxicité des hydrocarbures à moyen terme dû aux propriétés chimiques des composés. Sur le sol, la végétation montre en général une sensibilité aux produits raffinés et indique la présence persistante de ces résidus dans le sol (Picot *et al.*, 2013) ; comme elle subit divers problèmes reliés à l'absorption des nutriments, à la performance photosynthétique et aux échanges gazeux, ce qui peut mener à des problèmes de croissance, de développement et des débalancements biochimiques (Wu *et al.* 2010 in Grenier *et al.*, 2015), ainsi qu'à l'empêchement des fonctions cellulaires et physiologiques (ITOPF, 2013).

II.5 Réhabilitation des sols pollués aux hydrocarbures

La connaissance de la biodégradabilité des produits pétroliers représente un enjeu évident. En effet en cas de pollution accidentelle, il convient d'être en mesure d'apprécier les capacités d'auto-épuration du milieu naturel (atténuation naturelle) pour établir une stratégie et mettre en place, si nécessaire les opérations de réhabilitation (Solano *et al.*, 2001).

La dépollution peut être mise en œuvre à travers quatre grands types de méthodes, associant éventuellement la combinaison de plusieurs techniques (Zairi *et al.*, 2002) ; les méthodes physiques, thermiques, chimiques et biologiques qui peuvent être mises en œuvre ex situ (excavation des sols contaminés et traitement "hors site" ou "sur site") ou in situ (décontamination sans excavation) (Romantschuk *et al.*, 2000 in Técher, 2011).

L'écotoxicité et les implications potentielles des hydrocarbures pétroliers pour la santé environnementale et humaine ont conduit à un intérêt accru pour le développement de méthodologies basées sur la biotechnologie environnementale pour détoxifier les environnements affectés par les composés pétrogéniques (Koshlaf & Ball, 2017). Les méthodes de contrôle de la contamination par les hydrocarbures ont été étudiées ; En traitement physico-chimique tels que l'incinération, la désorption thermique, la cokéfaction, le four à ciment, l'extraction au solvant et le remblayage sont utilisés, mais ces dernières présentent certains inconvénients (du fait qu'elles sont coûteuses en raison du coût d'excavation et transport de grandes quantités de matériaux contaminés pour traitement ex-situ). Des technologies vertes adoptés pour réduire ou éliminer l'impact négatif des polluants sur l'environnement par l'utilisation des moyens biologiques pour la biorestauration des sites pollués par le pétrole (Yuniati, 2018).

II.6 Méthodes de dépollution

Les différentes techniques de dépollution peuvent être classées en fonction de la nature des procédés employés, du lieu de traitement et de devenir des polluants (Mulligan *et al.*, 2001). Il faut noter que la réhabilitation d'un site mettra souvent en œuvre différentes techniques.

II.6.1 Traitements biologique

Les procédés biologiques font appel à des micro-organismes soit des bactéries, des champignons ou des plantes pour favoriser la dégradation totale ou partielle des composés organiques (Zairi *et al.*, 2002 ; Atlas & Philp, 2005 ; Técher, 2011) ; certains bioprocédés permettent aussi de fixer ou de solubiliser certains polluants. La bioremédiation fournit les mesures les plus rentables et les plus respectueuses de l'environnement ainsi l'assainissement des sols contaminés par le pétrole (Yuniati, 2018).

II.6.1.1 La phytoremédiation

La phytoremédiation est une technique in situ qui utilise des plantes et/ou ses parties pour restaurer les supports contaminés (Solomon *et al.*, 2018). Ce processus est basé sur la coopération synergique des racines des plantes et des microorganismes du sol pour éliminer les contaminants du l'environnement (Azadeh *et al.*, 2013 ; Fatima *et al.*, 2016 *in* Nguemté *et al.*,2017). Il s'agit d'un traitement biologique appliqué généralement in situ ou sur site, basé sur des techniques agronomiques qui varient selon la classe de polluant et les caractéristiques du sol ou du site traité (Sterckeman *et al.*, 2011). Elle est dite passive du fait qu'elle ne demande pas d'apport énergétique si ce n'est celui du soleil (Ahalya & Ramachandra, 2004).

II.6.1.2 Les différentes techniques de la phytoremediation

La phytoremédiation est un terme général qui désigne plus spécifiquement divers procédés dits de bio-dépollution tels que la phytostabilisation, la phytoextraction, la phytovolatilisation, la phytodégradation et la rhizodégradation (Yeboah *et al*., 2015 ; Origo *et al.*, 2012).

II.6.1.2.1 La phytostabilisation

Cette technique utilise les plantes pour stabiliser le polluant, l'immobiliser ou encore contrôler et diriger son déplacement dans le sol s'il est mobile (Pivetz, 2001 *in* Doyle, 2008) ; ce mécanisme se produit soit par absorption et accumulation par les racines, soit par l'adsorption sur les racines ou encore par précipitations dans la zone racinaire des plantes (EPA, 2001).

II.6.1.2.2 La phytoextraction

La phytoextraction est une technique de dépollution in situ fondée sur l'utilisation des plantes capables d'accumuler des polluants dans leurs parties aériennes. Ces plantes via leurs racines, absorbent les polluants présents dans le sol puis les transfèrent dans leurs parties aériennes (tige, feuilles) où ils sont stockés (Bert *et al.*, 2012). On procède ensuite de façon régulière à une récolte de la biomasse pour retirer de façon permanente les contaminants du site ; la biomasse récoltée est communément incinérée en milieu contrôlé pour assurer une combustion optimale des gaz et permettre la récupération des cendres toxiques (Lai *et al.*,

2016). L'efficacité de cette technique repose sur la capacité de la plante à concentrer les polluants dans ses parties aériennes et à produire une biomasse importante (Bert *et al.*, 2012).

II.6.1.2.3 La Phytovolatilisation

La phytovolatilisation implique l'utilisation des plantes pour extraire les polluants du sol et les transformer en forme volatile puis le relâchement de ceux-ci dans l'atmosphère par transpiration à travers les stomates des feuilles (Vavasseur *et al.*, 2008). Selon Morel (2012), la phytovolatilisation est le prolongement de la phytoextraction, dès que la plante est capable de métaboliser les polluants. Ce mécanisme peut se produire avec des contaminants présents dans le sol, les sédiments ou l'eau (EPA, 2000 *in* Amanda, 2006).

II.6.1.2.4 La Phytodégradation

Lorsque le mécanisme de phytodégradation est à l'œuvre, les contaminants sont décomposés après avoir été pris en charge par la plante au niveau des parties aériennes. La phytodégradation a pour but de remédier des sols pollués par des contaminants organiques, comme les solvants chlorés, les herbicides et les munitions, et elle peut traiter les contaminants dans le sol, les sédiments ou les eaux souterraines (EPA, 2000 *in* Amanda, 2006). La dégradation des composés organiques peut être complète (générant des éléments inorganiques comme le CO_2, l'eau ou le Cl_2) ou incomplète, entraînant la formation d'intermédiaires stables (appelés métabolites) qui peuvent être entreposés dans la plante (Pilon, 2005).

II.6.1.2.5 La Rhizodégradation

La rhizodégradation est la décomposition d'un contaminant organique dans le sol par l'activité microbienne qui est renforcée par les racines (Mani & Kumar, 2014) ; les plantes sécrètent des exsudats au niveau des racines qu'elles les libèrent (Schnoor & coll, 1995 *in* EPA, 2000), pouvant ainsi augmenter les populations microbiennes et leurs activités dans la rhizosphère (EPA, 2000).

II.6.1.3 Les avantages de la phytoremédiation

La phytoremédiation est un procédé réputé peu coûteux, 10 à 100 fois moins que d'autres méthodes de dépollution (Ademe, 2006 *in* Bailly & Gautry, 2012) ; et réside dans son principe simple de laisser des agents naturels vivants capables de fonctionner et de se reproduire indépendamment et de traiter les polluants (Pradhan *et al.*, 1998 in Yeboah *et al.*, 2015). Elle a l'avantage de fixer le CO2, de préserver la morphologie du sol et les fonctions qui ne sont pas perturbées par la contamination, de restaurer ou d'améliorer les fonctions que la pollution a altérées (Sterckeman *et al.*, 2011). Cette technique recouvre une large gamme de procédés agro-écologiques, répond ainsi aux critères du développement durable, elle peut donc s'appliquer à de très grandes surfaces et à des contaminations superficielles. Elle permet également d'élaborer un tampon entre les zones polluées et la biosphère (Morel, 2012).

II.6.1.4 Le potentiel de phytoremediation

Pour effectuer cette technique de dépollution, une sélection d'espèces végétales à haut potentiel de phytoremédiation s'avère nécessaire (Baruah *et al.*, 2014 *in* Nguemté *et al.*, 2017) qui se réalise en fonction de plusieurs paramètres (EPA, 2001; Peer *et al.*,2005):

- La capacité d'extraire ou de dégrader les contaminants.

- Le taux de croissance rapide.
- L'adaptabilité aux conditions locales.
- La facilité de plantation et d'entretien.
- La tolérance aux concentrations élevées des polluants.
- Le développement d'une grande quantité de biomasse rapidement et être facile à récolter.

L'emploi d'espèces végétales indigènes tolérantes à des concentrations élevées des polluants dans le sol peut être un facteur clé du succès de la phytoremédiation (Azadeh *et al.*, 2013), car elles sont susceptibles d'avoir une plus grande résistance aux conditions extrêmes d'un tel environnement et de préserver la diversité végétale du site (Bacchetta *et al.*, 2012). Selon Adam et Duncan (2002), des plantes dont les graines sont capables de germer avec succès au milieu de la contamination sont des plantes tolérantes doivent être identifiés et sélectionnés pour une utilisation en phytoremédiation.

III. Généralité sur Pistacia lentiscus

Le pistachier lentisque (*Pistacia lentiscus.* L) ou arbre à mastic (Benhammou & Atik, 2009) (figure 02) est couramment appelé « Dro » en arabe (More & White *in* Bammou *et al.*, 2015) et amadaγ, imidekh ou tidikth en Kabylie. Est une principale composante du maquis méditerranéen (figure 03) de basse altitude (Cristiano *et al.*, 2016) ; qui montre un haut degré de plasticité en réponse à divers conditions (Zohary, 1952 *in* Mascarello *et al.*, 2007) comme la tolérance à la sécheresse et à différents types de sol sur lesquels elle prospère (Landau *et al.*, 2014).

Figure 02: Arbuste de *Pistacia lentiscus* L. (Photo originale, 2020)

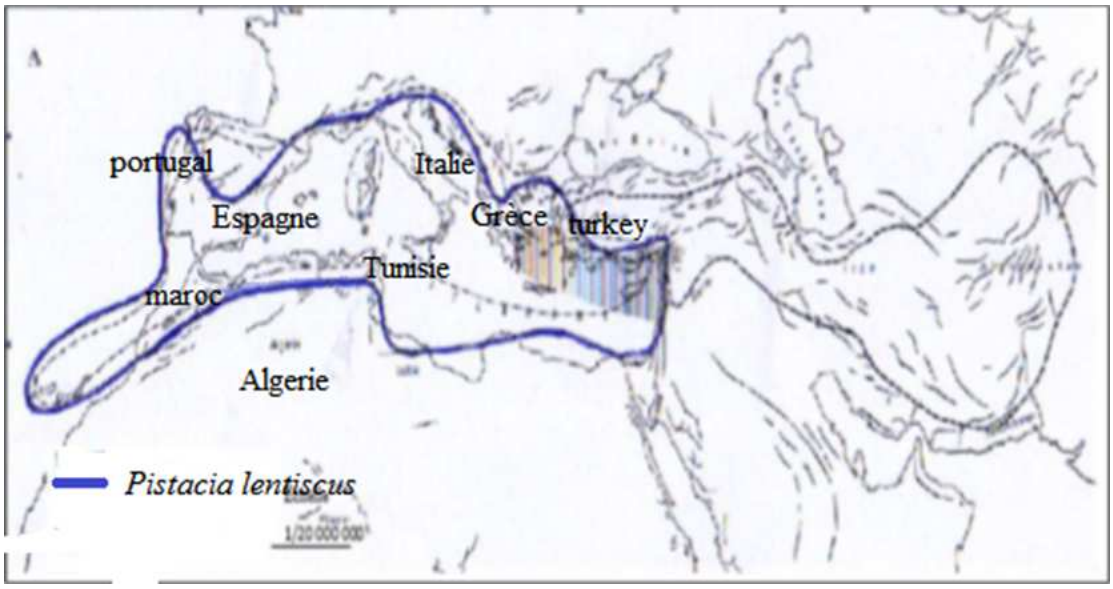

Figure 03 : Aire de distribution de *P. lentiscus* L (Alyafi, 1979 *in* Ait Said, 2011 (modifiée)).

III.1 Position systématique

Pistacia lentiscus se classe comme suit (Berrichi *et al.*, 2017) et (Al-Saghir & Porter, 2011) :

Règne : Plantae
Embranchement : Spermaphytes
Sous embranchement : Angiospermes
Classe : Dicotylédones
Ordre : Sapindales
Famille : Anacardiacées
Genre *: Pistacia*
Espèces : *P. lentiscus* L

III.2 Caractéristiques biologiques

P. lentiscus se trouve généralement sous forme d'îlots de broussailles rondes de 10 m de diamètre (Landau *et al.*, 2014) ; sa hauteur est de 5 à 6 m mais peut atteindre 8 m dans certaines conditions (Flexas *et al.*, 2001). Est un arbuste à odeur résineuse fortement âcre (More *et* White in Bammou *et al.*, 2015). Ses feuilles (figure 04) sont persistantes, alternes, opposées-ou alterni-paripennées, de 6-12 folioles, coriaces, glabres, d'un vert sombre et luisant en dessus et d'un vert pâle et mat en dessous et ses pétioles sont étroitement ailés. Le lentisque est dioïque (Debbabi *et al.*, 2017) ; son inflorescence est une grappe composée, lâche et aussi longue que les feuilles (figure 04), l'inflorescence mâle est de 8-10 fleurs agrégées de couleur rouge profond; la floraison a lieu dès le mois de mars au mois de mai. Le Fruit du pistachier lentisque (figure 05) est une petite drupe arrondie d'environ 5 mm, d'abord rouge puis devient noir à la maturité. Les semis de *P. lentiscus* développent généralement un système racinaire dense qui atteint des profondeurs allant jusqu'à 30 cm la première année

après plantation en conditions semi-arides (Fonseca 1999 *in* Maestre *et al.*, 2004). Ses racines sont fortes longuement traçantes et drageonnâtes (Mathieu, 1860).

Figure 04 : Inflorescences de *P. lentiscus* (station Azeffoun) A : inflorescences mâles, B : inflorescences femelles (Chehrit-Hacid, 2016).

Figure 05 : Feuilles et fruits du *P. lentiscus* (Bammou *et al*., 2015).

III.2.1 Caractéristiques physiologiques

Selon Garcia & Verdú (1998), *P. lentiscus* a une banque de semences transitoire avec la germination rapide des semences se produisant dans l'année ; ses graines ne présentent pas de dormance car elles germaient avec succès sans prétraitements. La propagation du lentisque par graines, augmente non seulement la variabilité génétique, mais indique également des différences élevées sur les taux de germination chez les génotypes (Kilinc *et al.*, 2015). Sa croissance est lente mais se croit fréquemment sur les sols rocheux bien drainés (Tassin, 2012).

III.3 L'importance du lentisque

Le lentisque est important pour le fonctionnement de l'écosystème en protégeant le sol contre l'érosion. Est une espèce qui se régénère rapidement après les perturbations, favorisant ainsi la biodiversité en facilitant l'installation d'autres plantes vasculaires et fournissant un abri et de la nourriture pour la faune (Maestre & Cortina (2005) *in* Yıldırım *et al.*, 2018). Selon Elgubbi *et al.* (2017) et Bacchetta *et al.* (2012), *P. lentiscus* a la capacité d'absorber et

d'accumuler les métaux lourds dans ses parties aériennes et dans les racines et s'avère être une espèce appropriée pour la phytostabilisation et la restauration d'un environnement altéré.

L'Agence européenne des médicaments (EMA) a autorisé son utilisation comme médicament traditionnel à base de plantes (Vrouvaki *et al.*, 2020). Plusieurs études ont également rapporté que l'huile essentielle provenant de cette plante possède des propriétés biologiques appréciables telles que des propriétés anti-oxydantes, antifongiques, antiatherogéniques (Benhammou *et al.*, 2008 *in* Djerrou *et al.*, 2013), antimicrobiennes et anti-inflammatoires, comme est utilisé dans plusieurs autres applications industrielles à part la production pharmaceutique telles que la parfumerie et l'alimentation (Calabro & Curro, 1974 *in* Djerrou *et al.*, 2013).

Chapitre III : Résultats et discussion

I. Matériels et méthodes

I.1 Description géographique de la station

Ifigha est une commune de la wilaya de Tizi Ouzou en Algérie, située à 38 km à l'est de Tizi Ouzou et à 13 km au sud d'Azazga. Ses coordonnées géographiques sont 36° 40′ 14″ Nord, 4° 24′ 37″ Est, (Source : APC Ifigha, 2012).

I.1.1 Relief et pentes

Le réseau hydrographique de la commune d'Ifigha est constitué principalement de l'Oued Sebou à l'Ouest, l'Oued Sahel et l'Oued Oussardoune au Sud, Ighezer Imerdane (Ait Bouadha) au Nord (Source : APC Ifigha, 2012).

I.1.2 Végétation

La commune d'Ifigha possède une arboriculture constituée essentiellement de l'olivier et du figuier qui occupe 51% de ses sols, soit une superficie de 2381,07 hectares Ha. Quant aux terrains nus cultivables, ils représentent 12% du territoire, soit 567,91 Ha, le reste est constitué de maquis (1152,35 Ha) et de foret (204,66 Ha). En effet le massif du Djurdjura abrite un potentiel appréciable en forêt de nature diverse, dans la commune d'Ifigha, les forêts et maquis occupent une superficie de 1357,01 Ha. (Source : APC Ifigha, 2012).

I.2 La récolte et préparation du fruit

L'échantillonnage du matériel végétal a été réalisé au niveau de la localité d'Ifigha le 19/01/2020. Les fruits de *P. lentiscus* ont été récoltés sur trois arbustes séparés les uns des autres choisis au hasard.

Au laboratoire, les fruits ont été triés et seulement les fruits mûrs de couleur noire ont été utilisés dans notre étude. Ils ont été trempés dans l'eau pendant 24 heures pour éliminer la pulpe et les graines récupérées ont été trompés dans l'eau à fin de récupérer les graines viables, celles flottant (non viables) ont été éliminée et celles immergées (viables) sont récupérées pour le test préliminaire et dans le but d'étudier l'influence de la pollution aux hydrocarbures sur la croissance des plantules de lentisque.

I.3 Prélèvement et préparation du sol

Les deux échantillons du sol (pollué (SP) et témoin (ST)) d'environ 10 kg chacun ont été prélevés le 19/02/2020 à une profondeur de 0 à 30 cm au niveau de la station-service d'Ifigha (figure 06) :

- Le sol pollué a été prélevé sous les évents permettant l'évacuation de l'air chargé de vapeur d'hydrocarbures.
- Le sol témoin a été prélevé à une distance d'environ de deux mètres du premier prélèvement où poussait une végétation.

Les deux échantillons du sol ont été étalés et laissés sécher à l'air libre et à température ambiante au laboratoire (le 23/02/2020), pendant 4 jours puis ont été broyés afin d'écraser les mottes. Les pierres et les débris ont été enlevés afin d'obtenir des mélanges probablement

homogènes. Ensuite 8 sachets de 1 kg du sol pollué et 8 sachets de 1 kg du sol témoin ont été préparés puis étiquetés.

I.3.1 Présentation de la zone d'échantillonnage

Figure 06: Présentation de la zone d'échantillonnage (Source : Google MAPS, 2020)

I.4 Test préliminaire : semis des graines du lentisque dans les boîtes de pétris

Un lot de 50 graines a été mis à germer dans des boites de Pétri, entre deux couches de coton humidifié à raison de 5 graines par boîte à température ambiante (le 23/01/2020)**.** Le comptage des graines germées est effectué quotidiennement pendant quatre semaines; une graine est considérée comme germée lorsque la radicule mesure au moins 5 mm de longueur. Le pouvoir germinatif des graines est évalué à l'aide d'un test de germination, le taux et la vitesse de germination (temps moyen de germination TMG) ont été calculés après quatre semaines.

I.5 L'effet de la pollution du sol aux hydrocarbures sur le lentisque

Un deuxième lot de graines a subi une scarification chimique par l'acide sulfurique concentré (15 ml) pendant 15 min. puis ont été abondamment lavées à l'eau courante pour éliminer toute trace d'acide sulfurique. Ces graines ont été ensemencées dans les sachets du sol que nous avons préparé auparavant à raison de 5 graines par sachet, puis laisser exposé à la lumière et arrosés régulièrement pendant six mois.

I.5.1 L'effet sur les levés et la survie

Le nombre de levé est enregistré chaque 3 jours pendant les deux premières semaines, puis le taux des levés a été calculé. Les plantules étaient sous surveillance durant l'expérimentation pour enregistrer les cas de mort.

I.5.2 Effet sur la croissance

Après la période de croissance de 6 mois, les plantules ont d'abord été soigneusement retirées du sol et lavées avec de l'eau courante de manière à ce que les racines ne soient pas endommagées. Les parties aériennes ont été séparées des parties racinaires. Les longueurs des racines principales (LSR) et hauteurs de la tige principale (HSA) ont été mesurées en cm, puis l'indice de germination a été calculé dans le but d'évaluer l'effet toxique des hydrocarbures contenus dans le sol sur *P. lentiscus.*

Afin de peser la biomasse sèche des parties aériennes (BSA) et racinaires (BSR), chaque partie de chaque plante a été mise dans du papier aluminium étiqueté, puis ont été laissé sécher à 40° C dans l'étuve. Des pesées ont été effectuées toutes les 48 h à l'aide d'une balance de précision jusqu'à l'obtention des poids secs stables.

➢ **Les paramètres mesurés**

- **Le taux de levés**

Le taux de germination (TG) est calculé après quatre semaines d'observation suivant la Formule :

TG (%)= (NGG/NTG)*100

NGG = Nombre de graines ayant germé.

NTG= Nombre total de graines dans une boite à Pétri.

- **La vitesse de germination**

La vitesse de germination : caractérise la variation dans le temps des taux de germination dès l'apparition de la première pointe de la radicule d'une des graines jusqu'à la stabilité de la germination. Ce paramètre est calculé après quatre semaines d'observation suivant la Formule de MGT (Soltani *et al.*, 2015).

MGT est défini comme une mesure de la vitesse et de la période de germination. Il est égal à £ (n× t) / £ n, où t est le temps écoulé depuis le début du test de germination en termes d'heures ou de jours, et n est le nombre de graines nouvellement germées au temps t. MGT peut être considéré non seulement comme le taux de germination d'un échantillon de graines, mais aussi comme moyenne de la période de latence pour chaque graine entre le début de l'imbibition et de la germination (Soltani *et al.*, 2015).

- **L'indice de germination**

L'indice de germination (IG%) : est calculé à partir du nombre des graines germées et de la longueur des racines principales dans les sols (témoin et pollué), cet indice tient compte de l'existence ou d'absence d'un effet toxique des polluants du pétrole brut sur la croissance des plantes ; est évalué à l'aide de l'expression suivante (Solomon *et al.*, 2018) :

GI%= Gs*Ls / Gc*Lc ×100

Gs : est le nombre de graines germées dans le sol pollué.

Gc : est le nombre de graines germées dans le sol témoin.

Ls : est la moyenne des longueurs des racines dans le sol pollué.

Lc : est la moyenne des longueurs des racines dans le sol témoin.

Un indice de germination (IG) de 100 % indique qu'il n'y a pas d'effet toxique du pétrole brut sur la croissance des plantes. Un IG inférieur à 40 % a été proposé pour indiquer une toxicité élevée tandis qu'une valeur allant de 40 % à 60 % indique une toxicité modérée et des valeurs supérieures à 60 % indiquent l'absence d'effet négatif (Solomon *et al.*, 2018).

I.6 Analyse statistiques

Les valeurs obtenues sont analysées avec le logiciel STATISTICA. Le test de normalité de Shapiro-Wilk est appliqué pour toutes les données car n <50 ; les variables suivent une loi normale si P-value > α. L'analyse statistique des données à distribution normale est effectuée en adaptant une approche paramétrique par comparaison de deux moyennes, test de Student pour deux échantillons indépendants et le test non paramétriques (test Man-Whitney) pour le traitement des variables qui ne suivent pas une loi normale. Les résultats sont considérés comme significativement différents à P < α (α : Risque d'erreurs fixé par l'expérimentions qui est 5 %).

L'analyse en composante principale (ACP), analyse multidimensionnelle exploratoire, permet de déterminer les corrélations éventuelles entre les différentes variables quantitatives (TG, HSA, LSR, BSA et BSR) et entre ces variables et les individus-échantillons. Seuls les points voisins de la périphérie du cercle sont interprétés, deux variables proches sur le graphe et proches d'un axe sont considérés comme corrélés positivement et celles opposés sont considérés comme corrélés négativement. Elle a été réalisée à l'aide du logiciel STATISTICA.

Chapitre II : Matériels et méthodes

I. Germination des graines de *P. lentiscus* dans les boîtes de pétri.

I.1 Résultats

Nous avons enregistré un taux de germination de 78 ± 25,73 % avec un temps moyen de germination (TMG) de 4.23 jours.

I.2 Discussion

Le résultat préliminaire de taux de germination des graines germées dans les boites de pétri est similaire à celui obtenu par Oudea (2018), sur des graines de la même espèce provenant de la wilaya de Djelfa (83,33%), cela montrent que *P. lentiscus* a un pouvoir germinatif élevé. Il est par contre supérieur à celui obtenu par Tsakaldimi & Ganatsas (2001), qui ont travaillé sur des graines de *P. lentiscus* originaires de Grèce qui est de 68% et nettement supérieur à celui obtenu par Abu-Qaroud (2007), qui a travaillé sur des graines récoltées dans la région d'Hébron en Palestine qui est de 10% uniquement cette différence pourrait être expliqué par la grande variabilité de l'espèce ce qui affirmé par l'étude de Mulas (1997), en effet, sur une population de *P. lentiscus* de 33 écotypes, cet auteur a constaté que le taux de germination des graines de *P. lentiscus* varie de 0 à 56%.

Selon Côme (1993), la qualité germinative d'une semence est en fonction de son génome mais aussi de multiples facteurs tels que l'eau, la température, l'oxygène et la lumière. Selon Frank (2000), les semences représentent l'étape la plus efficace vers la pérennité des plantes.

II. Résultats du Test de phytotoxicitie des hydrocarbures

II.1 Effet de la pollution aux hydrocarbures sur les levés et la survie du lentisque

II.1.1 Effet sur les levés

Les résultats de l'effet de la pollution du sol aux HC sur les levés de *P. lentiscus* dans le sol pollué et sol témoin sont illustrés par la figure 07. Nous avons enregistré une valeur de 62,5 ± 22,25 % dans le sol pollué et de 54,28 ± 16,69 % dans le sol témoin. Le test non paramétrique de Mann-Whitney (Tableau I), montre une différence non significative (P=0,535820). Le résultat de l'indice de germination obtenu est de 58,24 %.

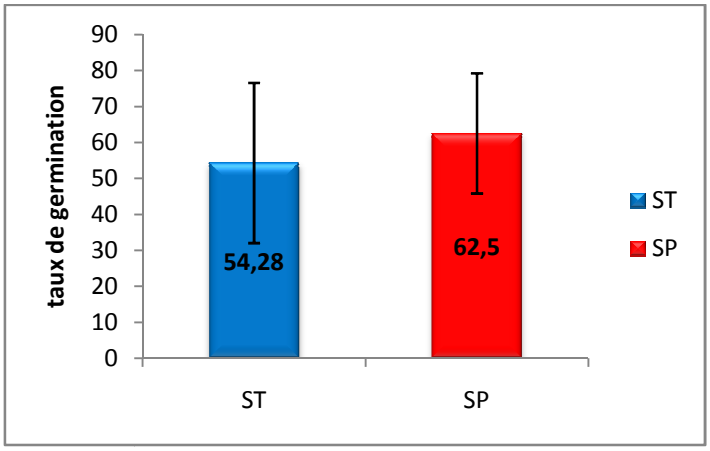

Figure 07: Taux de levés des graines de *P. lentiscus* dans le sol pollué (SP) et le sol témoin (ST).

Tableau I: les résultats du test Mann-Whitney pour le taux de germination

Test U de Mann-Whitney (Feuille de données 1) Par var. sol Tests significatifs marqués à p <,05000										
	Somme Rgs	Somme Rgs	U	Z	niv. p	Z	niv. p	N Actif	N Actif	2*(1-p)
TG	50,00000	70,00000	22,00000	-0,694365	0,487454	-0,727607	0,466855	7	8	0,535820

II.1.2 Effet sur la mortalité

Après six mois de culture, nous avons constaté que la mortalité des plantes de *P. lentiscus* est nul (0) dans le sol pollué et dans le sol témoin.

II.2 Effet de la pollution aux hydrocarbures sur la croissance du lentisque

II.2.1 Effet sur le système aérien

Les résultats de la hauteur et de la biomasse sèche du système aérien *de P. lentiscus* dans le sol pollué (SP) et dans le sol témoin (ST) sont illustrés par les figures 08 et 09. La hauteur et la biomasse sèche de système aérien de PL (*Pistacia lentiscus*. L) dans le sol témoin sont de 15,93 ± 2.35 cm et de 0,24 ± 0.045 g et de 4,62 ± 0.62 cm et 0,03 ± 0.006 g dans le sol pollué. Le test de Mann-Whitney (Tableau II) montre qu'il y a une différence hautement significative entre le sol pollué et le sol témoin (P=0,000311 et P=0,00311 pour la hauteur et la biomasse sèche respectivement).

Figure 08 : les différentes parties des Plantules de *P. lentiscus* après 6 mois de croissance sur sol témoin (a) et sur sol pollué (b).

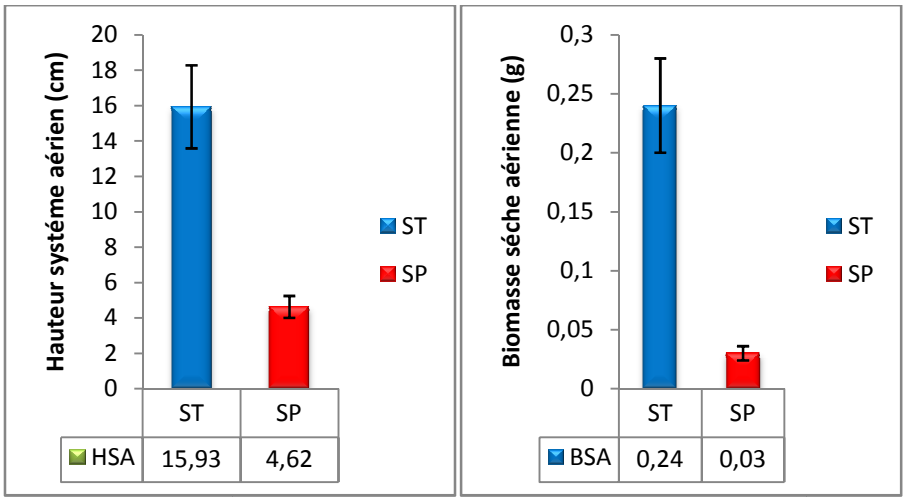

Figure 09 : La hauteur et la biomasse sèche du système aérien *de P. lentiscus* dans le sol pollué (SP) et dans le sol témoin (ST).

Tableau II: les résultats du test Mann-Whitney pour HSA et BSA.

Test U de Mann-Whitney (Feuille de données1) Par var. sol Tests significatifs marqués à p <,05000										
	Somme Rgs	**Somme Rgs**	**U**	**Z**	**niv. p**	**Z**	**niv. p**	**N Actif**	**N Actif**	**2*(1-p)**
HSA	84,0000	36,00000	0,00000	3,240370	0,001194	3,240370	0,001194	7	8	0,000311
BMA	84,0000	36,00000	0,00000	3,240370	0,001194	3,243267	0,001182	7	8	0,000311

II.2.2 Effet sur le système racinaire

Les résultats de la longueur (LSR) et de la biomasse sèche du système racinaire de *P. lentiscus* dans le sol pollué et le sol témoin sont illustrés par la figure 10. La longueur et la biomasse moyennes des racines dans le sol témoin sont de 19,86 ±3.9 cm et 0,04 ± 0.015 g et celles enregistrées dans le sol pollué sont de 10.05 ± 4.32cm et 0,013± 0.004 g. Nous remarquons que l'élongation et la biomasse sèche des racines est plus élevée dans le sol témoin. Le test t de Student (Tableau III) a révélé une différence hautement significative (P de LSR=0,000469) et (P de BSR=0,000301) entre le sol contaminé et le sol témoin.

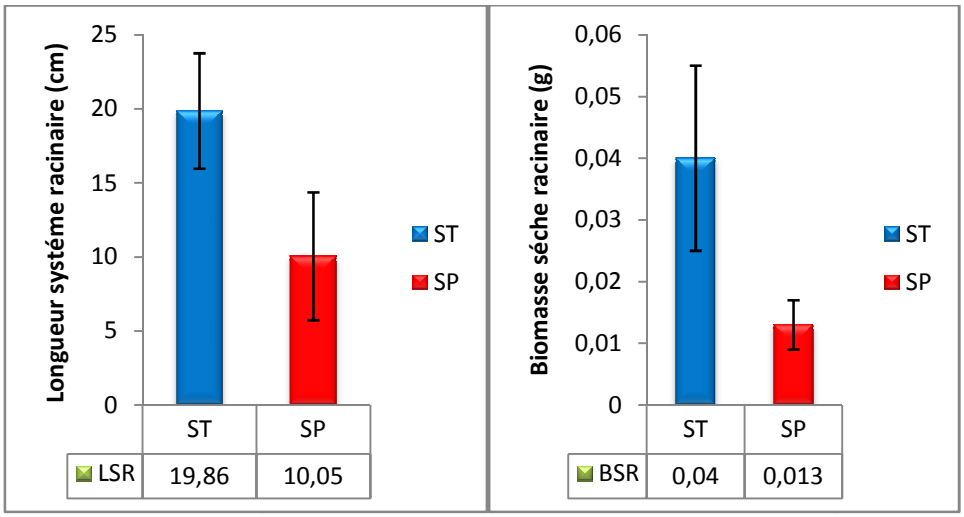

Figure 10 : La longueur et la biomasse sèche du système racinaire *Pistacia lentiscus* dans le sol pollué et le sol témoin.

Tableau III: les résultats du test t (test Student)

Tests t ; Classmt : sol (Feuille de données1) Groupe1: STGroupe2: SP											
	Moyenne	**Moyenne**	**Valeur t**	**dl**	**p**	**N Actifs**	**N Actifs**	**Ecart-Type**	**Ecart-Type**	**Ratio F**	**p**
LSR	19,96429	10,04563	4,632896	13	0,000469	7	8	3,903164	4,326766	1,22883	0,817601
BMR	0,04243	0,01346	4,880060	13	0,000301	7	8	0,015999	0,004988	10,28637	0,007082

II.2.3 Discussion

La présence des contaminants dans le sol est reconnue comme ayant un impact négatif sur la croissance et le métabolisme des plantes, lorsque la concentration d'un composé potentiellement toxique dépasse le seuil dans le sol, les réactions possibles chez les plantes sont toutefois très variables et dépendent de plusieurs facteurs comme les conditions expérimentales, le type de sol, la nature et la concentration des contaminants et différent aussi selon l'espèce.

Le taux de levés dans le sol pollué et témoin est d'une valeur moyenne de 62% et54% respectivement.

Nos résultats diffèrent de ceux obtenus par Bacchetta *et al.* (2015), qui ont enregistré des taux de germination de 19% dans un sol pollué aux métaux lourd et de 34% dans le sol témoin des graines de même espèces.

Selon nos résultats, la germination n'été pas affectée par la pollution aux HC, Cela pourrait être expliqué par la résistance des graines de cette espèce face à ce type de pollution. Selon Vasques *et al.* (2016), les graines de *P. lentiscus* ne présentent pas de dormance et nécessitent uniquement l'élimination de la pulpe et une courte période de pluie abondante

pour germer. Cette caractéristique pourrait jouer un rôle en faveur de sa résistance à la pollution aux HC du fait que les graines germaient avant que les HC exercent leurs toxicités.

Bien que la différence soit statistiquement non significative nous avons enregistré un taux de germination supérieur dans les sols pollués aux HC par apport aux sols témoins, cela pourrait être due aux HC qui empêchaient l'infiltration d'eau contenue dans les sols, donc elle permet au sol une teneur en eau qui est un élément préliminaire pour le déclanchement du processus de germination. Selon Reilly *et al.*, 1996 *in* Besalatpour *et al.*(2008), Il semble que les hydrocarbures pétroliers ont un effet indirect sur la capacité du sol à fournir de l'eau et des nutriments aux semences pour la germination des plantes.

On suppose aussi que la germination n'a pas été affectée probablement à cause de la prolifération des microorganismes apte à la dégradation des hydrocarbures. En effet selon les résultats de Mohsenzadeh *et al.* (2009), ont montré que huit espèces végétales: *Polygonumaviculare, Centureaevirgata, Carthamusonyacantha, Alhaji cameleron, Glycyrrhizaglabra, Poa* sp., *Lactuca serula* et *Hordeumbulbosum* poussaient sur les sites contaminés et le test de germination a montré que toutes les plantes étudiées sont capables de survivre dans des sols contaminés par le pétrole. Il semble que les HC fournissent des nutriments qui permet la prolifération de certains champignons dans le sol, même à des concentrations très élevées et qu'ils sont plus efficace pour la dégradation Des HC (Mohsenzadeh *et al.*, 2009). Selon Yuniati, (2018), Les hydrocarbures à bas poids moléculaire sont vulnérables à la biodégradabilité par les microorganismes du sol.

Selon Mohsenzadeh *et al.* (2009), il semble que le pétrole brut ait un effet caustique ou mortel uniquement lorsqu'il entre en contact direct avec les tissus de la plante. Il semble que la résistance des semences à la phytotoxicité des HC est principalement attribuée à la structure de la paroi cellulaire (Terje, 1984 *in* Besalatpour *et al.*, 2008).

La germination n'est pas affectée par les HC, cela montre que cette espèce est tolérante à la pollution.

Nos résultats concernant la survie des plantules du lentisque concordent avec ceux obtenus par Oudea (2018), qui a travaillé sur l'effet du stress salin sur la mortalité des plantules de la même espèce et avec ceux de Cristiano *et al.* (2016), qui ont travaillé sur les caractéristiques morphologiques de différentes accessions d'arbres à mastic (*Pistacia lentiscus* L.) en réponse au stress salin en pépinière, ces auteurs ont enregistré un taux de survie varie entre 75% - 96 %.Ils sont par contre différents de ceux obtenus par Bacchetta *et al.* (2012), qui ont testé l'effet de la contamination du sol par les métaux lourds sur terrain et ont enregistré un taux de mortalité élevé dans le sol pollué.

Nous avons enregistré 100 % de survie aussi bien dans le sol pollué et dans le sol témoin durant l'expérimentation. Cela pourrait être due à la tolérance vis-à-vis des contraintes du sol (propriétés physicochimiques du sol, la pollution aux HC). La survie des espèces végétales soumises à des stress abiotiques dépend principalement de la capacité de la plante à

réagir au stress environnemental spécifique, nécessitant une réponse adaptative (Jenks & Hasegawa 2014).

Selon Cristiano *et al.* (2016), *P. lentiscus* peut être classé comme « tolérante » à la salinité en termes de survie relative pendant le stade précoce de la croissance.

Selon De Giudici *et al.* (2015), *P. lentiscus* est capable de pousser spontanément sur des substrats essentiellement constitués de boue résiduelle accumulée pendant le traitement de flottation minière.

Selon Concas *et al.* (2015), *P. lentiscus* semble bien tolérante à des concentrations métalliques très anormales.

L'indice de germination obtenue indique une phytotoxicité modérée. Cela pourrait être due au fait que cette espèce développe des stratégies de tolérance soit en accumulant les contaminants dans leurs parties hors sol (phytoextraction) soit en les immobilisant à l'interface sol-racines (phytostabilisation) Bacchetta *et al.* (2012).

Nos résultats concernant la hauteur et la biomasse sèche aérienne ainsi que la longueur et la biomasse sèche racinaire de *P. lentiscus* concordent avec ceux obtenus par Bacchetta *et al*. (2015), qui ont enregistré une réduction de ces paramètres par apport a un sol témoin ; les résultats de la hauteur du système aérien et de la longueur des racines concordent aussi avec ceux obtenus par Cristiano *et al.* (2016).

Nos résultats montrent que la pollution du sol aux HC a un fort effet négatif sur la croissance de *P. lentiscus*, cela pourrait être expliqué par la fait que les HC ont formé un film huileux à la surface des racines, ce qui empêchaient l'absorption d'eau et des nutriments par les racines des plantules.

Selon Vogelmann *et al.* (2013) et Parus *et al.* (2017), lors d'un déversement de carburants dans le sol et en particulier le gasoil, ces derniers ne migrent pas à travers les profils du sol en raison de leurs propriétés hydrophobes mais ils seront maintenus à la surface du sol et dans la zone d'enracinement de la plupart des espèces végétales. Ils peuvent conduire alors, à des difficultés pour les racines à absorber l'eau et les nutriments de manière habituelle et empêcher l'aération. Par conséquent la croissance peut être entravée.

Selon Mohsenzadeh *et al.* (2009), l'effet direct du pétrole brut sur le sol se limite à une réduction plus ou moins marquée de la croissance et la biomasse de certaines plantes. Cela pourrait être due à la pénétration et au passage des HC à travers les membranes cellulaires, entraînant soit une réduction de l'intégrité de la membrane et / ou la mort de la cellule végétale, ou leurs accumulations dans une / ou plusieurs parties de la plante ralenti ainsi son développement jusqu'à l'arrêt total de la croissance (Azadeh *et al.*, 2013).

D'après Besalatpour *et al.* (2008), les espèces végétales : agropyron, tournesol, trèfle et carthame, semées dans un sol contaminé aux hydrocarbures ont bien germé tandis que la croissance est entravée la croissance ultérieure et l'établissement dans les sols contaminés indique une aptitude à la phytoremèdiation.

Selon Serra. (2015), La diminution de la croissance de *Lolium perenne* et *Arabidopsis thaliana* lorsqu'elles sont exposées à de grandes quantités de composés phytotoxiques est connue sous le nom de phénomène inverse d'hormèse et peut se produire lorsque la concentration d'un polluant atteint un niveau suffisamment élevé. Les composés hydrophobes vont passer directement dans les cellules par diffusion passive au travers des membranes. Les molécules plus polaires peuvent être absorbées de manière passive ou active via les flux d'eau, et être transportées dans le xylème ou le phloème. Elles peuvent aussi emprunter les systèmes de transport cellulaire et créer des dommages permanents à la plante. Dans ce cas, la présence d'un stress provoquera l'inhibition du métabolisme de la plante et freine sa croissance.

Une relation positive entre l'efficacité d'utilisation de l'eau (WUE) et l'efficacité d'utilisation des nutriments a été observée (Ewers *et al.*, 2000), suggérant que les plantes ne peuvent pas utiliser pleinement les nutriments pour la croissance lorsque l'eau est limitée (Trubat *et al.*,2006).

Les HC peuvent également affecter la photosynthèse par blocage du transfert d'électrons (Kummerová *et al.*, 2008). Cela pourrait être causé par le fait que les racines sont en contact direct avec la pollution des HC et leur absorbance permet leurs passages dans les plantes.

Selon Achuba. (2006) *in* Al-Moaikal *et al*. (2012), le stress abiotique limite la production de biomasse de la plante, les huiles brutes affectent les indices de croissance de la plante dont la biomasse des pousses et les racines cela peut être attribué à une diminution de la taille des cellules et l'inhibition de processus de division cellulaire.

II.3 Corrélation entre la projection des variables et la projection des individus

L'analyse en composante principale (ACP) sur ces caractères indique que les axes I et II expliquent 88.87% d'information. L'axe I est principalement formé par les variables HSA, BSA, LSR, BSR. Ces quatre variables sont positivement corrélées entre elles (R= 0,79 ; 0,97 ; 0,72 respectivement) (tableau IV; figure 11). L'axe II est formé par la variable TG qui n'est pas corrélées avec HSA, BSA, LSR, BSR (R=-0,36) ; la variable TG est donc indépendante des variables morphologiques. La projection des individus (figure 12) montre que les plantules du sol pollué sont en général caractérisées par de petits organes et s'opposent aux plantules du sol témoin ; ce qui confirme les résultats d'analyses prises individuellement.

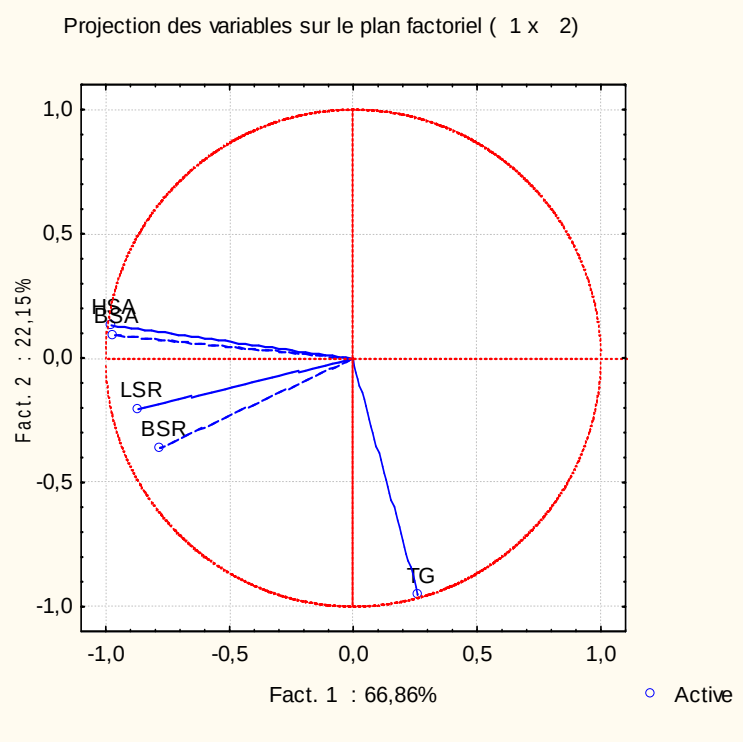

Figure 11 : Analyse en composante principale des paramètres physiologiques et biométriques de *P. lentiscus* cultivé dans les sols pollué et témoin (projection des variables).

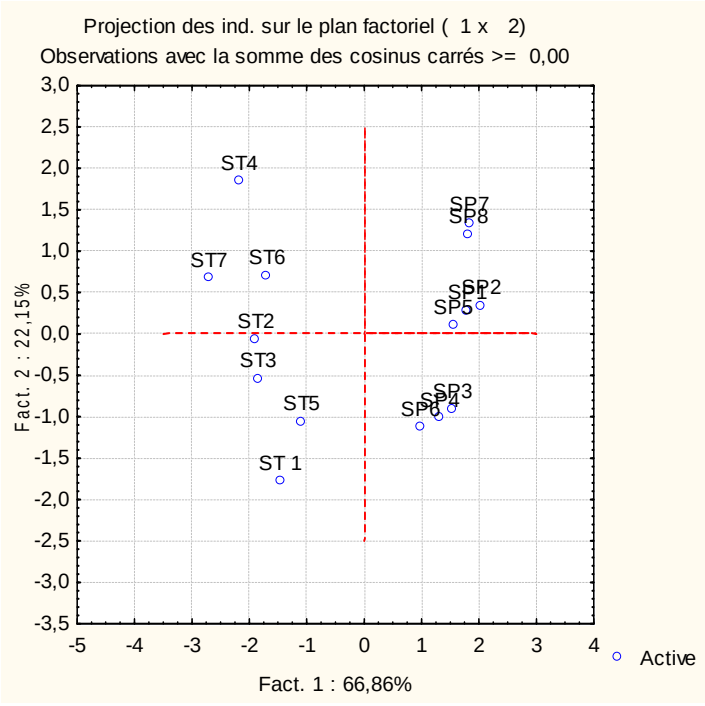

Figure 12 : Analyse en composante principale des paramètres physiologique et biométriques de *P. Lentiscus* (projection des individus) dans les sols pollué et témoin.

Tableau IV : Matrice des corrélations entre variables

Corrélations (Feuille de données)					
	TG	**HSA**	**LSR**	**BSA**	**BSR**
TG	1,000000				
HSA	-0,369545	1,000000			
LSR	-0,007450	**0,797668**	1,000000		
BSA	-0,308739	**0,972930**	**0,831516**	1,000000	
BSR	0,077042	**0,721259**	**0,576342**	**0,659836**	1,000000

En gras, valeurs significatives (hors diagonale) au seuil alpha=0,05 (test bilatéral).

Tableau V : Récapitulatif des effets des hydrocarbures sur le lentisque

paramètres	TG	TM	HSA	BSA	LSR	BSR
Effet toxique	-	-	+	+	+	+

Conclusion et perspectives

Conclusion et perspectives

La présence d'agents toxiques dans le milieu de croissance d'une plante menait à une diminution de la biomasse des racines, de la longueur/taille des racines, des tiges, et des feuilles et une sénescence prématurée des feuilles.

La présente étude a montré que la germination des graines de *P. lentiscus* n'est pas affectée par la pollution aux hydrocarbures. Cette espèce a également présenté un taux de survie maximal qui est de 100% tandis que les paramètres biométriques essentiellement la biomasse sèche de système aérien des plantes sont inhibés face au stresse par les HC. Les résultats obtenus sur la survie confirment la grande adaptabilité de cette espèce aux stress environnementaux et pourrait être considérée comme espèce exploré pour la phytoremédiation tant pour sa résistance que pour sa lente croissance.

Il serait intéressant dans les études futures, d'étudier les paramètres physico-chimiques et biologiques du sol afin de mieux comprendre les modifications de ces derniers, suite à une contamination aux hydrocarbures et de montrer ainsi l'effet des hydrocarbures sur la plante.

Il serait également intéressant de faire un suivit pour le processus de germination afin de calculer le temps moyen de germination et de déduire la vitesse de germination des graines de cette espèce dans le sol témoin et pollué.

Il conviendrait aussi de tester l'efficacité de cette espèce dans la décontamination des sols, cela nécessite la quantification des HC contenus dans les sols contaminés avant et après les essaies.

Il serait également souhaitable de quantifié les hydrocarbures dans les différentes parties de la plante afin de comprendre les stratégies de tolérance adoptées par cette espèce.

Il serait intéressant dans les études futures de faire des essais in-situ pour évaluer la réponse de *P. lentiscus* à la pollution aux hydrocarbures.

Références bibliographiques

Références bibliographiques :

1. **Abu-Qaoud H.** (2007). Effect of scarification, gibberellic acid and stratification on seed germination of three *Pistacia* species: 21.
2. **Adam G., Duncan H.** (2002). Influence of diesel fuel on seed germination. Environmental pollution, 120(2): 363-370.
3. **Agarry S., Ogunleye O.** (2012). Box-Behnken design application to study enhanced bioremediation of soil artificially contaminated with spent engine oil using biostimulation strategy. International Journal of Energy and Environmental Engineering, 3(31): 1-14.
4. **Ahalya N., Ramachandra T. V.** (2004). Phytoremediation: Processes and mechanisms.Ecol. Bio, 18: 33-38.
5. **Ait Said S. (2011).** Strategies adaptatives de deux especes du genre pistacia (*p. lentiscus* L. et *p. atlantica*desf.) aux conditions d'altitude, de salinite et d'aridite. approchesmorpho-anatomiques, phytochimiques - ecophysiologiques. Thèse du Doctorat. U.M.M.T.O. 124 p.
6. **Ait Said S., Fernandez C., Greff S., Torre F., Derridj A., Gauquelin T., Mevy J.P.**(2011). Inter-population variability ofterpenoid composition in leaves of *Pistacia lentiscus* L. from Algeria: A Chemoecological Approach.Molecules. 16(3) : 2646–2657.
7. **Al-Hawash A. B., DraghM.A., Li S., Alhujaily A., AbboodH.A., Zhang X., Ma F**. (2018). Principles of microbialdegradation of petroleumhydrocarbons in the environment. Egyptian Journal of AquaticResearch, 44. 71-76.
8. **Al-Moaikal R. M. S., Shukry W. M., Azzoz M. M., Al-Hawas, G. H. S.** (2012). Effect of crude oil on germination, growth and seed protein profile of Jojoba (Simmodsiachinensis). Plant Science Journal, 1: 20-35.
9. **AL-Saghir M.G., Porter D. M.** (2011). Taxonomic Revision of the Genus Pistacia L. (Anacardiaceae). American Journal of Plant Sciences, 3(1): 12-32.
10. **Álvarez A. M., Carral P., Hernández Z., Almendros G.** (2015). Hydrocarbon pollution from domestic oil recycling industries in peri-urban soils. Lipid molecular assemblages. Journal of environmental chemical engineering, 4(1): 695-703.
11. **Amanda V. E.** (2006). Phytoremediation of Petroleum Hydrocarbons. Environmental Careers Organization for U.S. Environmental Protection Agency Office of Solid Waste and Emergency Response Office of Superfund Remediation and Technology Innovation Washington, DC,171.
12. **APC Ifigha**. (2012). Etude de révision du PDAU de la commune d'Ifigha.
13. **Atlas R. M., Philp J.**(2005). Applied Microbial Solutions for Real-World Environmental Cleanup. 1 èreedition. Washington.ASMPress: 366p.
14. **Ausma S., Grant C. Edwards., Collée R., Fitzgerald-Hubble., Halfpenny M. L., Terry J. Gillespie., Wendy P. Mortimer**. (2002). Volatile hydrocarbonemissionsfrom a diesel fuel-contaminatedsoil bioremediation Fragility. Joranal of the air & vaste management association, 52 : 769-780.

15. **Azadeh V., Panahpour E.,Mirzaee B. M. H.** (2013). Phytoremediation, a Method for Treatment of Petroleum Hydrocarbon Contaminated Soils. International Journal of Farming and Allied Sciences, 2 (21): 909-913.
16. **Bacchetta G., Cao A., Cappai G., Carucci A., Casti M., Fercia M. L., Lonis R., Mola F.** (2012). A field experiment on the use of Pistacia lentiscus L. and Scrophulariacanina L. subsp. bicolor (Sibth. et Sm.) Greuter for the phytoremediation of abandoned mining areas, Plant Biosystems - An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology: Official Journal of the SocietaBotanicaItaliana, 146(4):1054-1063.
17. **Bacchetta G., Cappai G., Carucci A**. (2015). Use of native plants for the remediation of abandoned mine sites in mediterranean semiarid environments. Bulletin of environmental contamination and toxicology, 94(3): 326-333.
18. **Bailly A., Gautry J. Y.** (2012). Phytoremédiation et phytoépuration : de nouvelles perspectives pour les taillis à courtes rotations. Copyright FCBA INFO, 15.
19. **Bammou M., Daoudi A., Slimani I., Najema M., Bouiamrine E. H., Ibijbijen J., Nassiri L.** (2015). Valorisation du lentisque « *Pistacia lentiscus*L.».Étude ethnobotanique, Screening phytochimique et pouvoir antibactérien. Journal of Applied Biosciences 86: 7966-7975.
20. **Baptist F., Disca T., HellalJ., LimassetE., Horiot M., Binet T.** (2018). Mesure de la biodiversité et évaluation des services écosystémiques des milieux restaurés Méthodes et retours d'expériences.edsRecord.17-1021 :143
21. **Barriuso E., Calvet R., Schiavon M., &Soulas G.** (1996). Les pesticides et les polluants organiques des sols. Etude et gestion des sols, 3(4) : 279-296.
22. **Barbault R.** (1992). Ecologie des peuplements : Structure, dynamique et évolution. Paris: eds Masson. Journal of Evolutionary Biology, 6. (4) : 611-612. 273 p.
23. **Béchet B., Le Guern C., Lakel A., Saiyouri N., Andrès Y., Charpentier S., Gaudin A., Khalil T., Gerente C., Chazarenc F., Ladislas S., El Mufleh A., Andrieu H., Lassabater L., Legret M., Beaudet L., Cannavo P.** (2011).Le projet polesur : Recherche fédérative multi-disciplinaire sur la pollution des eaux et des sols en milieu urbain en région des pays de la loire.
24. **Benhammou N., Atik B. F.** (2009). Activité antibactérienne de l'huile essentielle de *Pistacia lentiscus* L. de deux stations de la région de Tlemcen (Algérie) : 181-185.
25. **Berrichi M., Chikh M., Haddad A., Allam F., Gueffar M., BelkhodjaY.**(2017). Quelques aspects histo-morphologiques du pistachier de l'atlas (Pistacia atlanticaDESF.) dans le nord occidental de l'Atlas Tellien (Tlemcen-Algérie).Algerian Journal of AridEnvironment "AJAE", 7(1) : 111-121.
26. **Bert V., Hadj S.A., Leyval C., Fontaine J., Ouvrard S.** (2012). Les phytotechnologies appliquées aux sites et sols pollués. État de l'art et guide de mise en œuvre, ADEME 7504, 99.
27. **Besalatpour, A., Khoshgoftarmanesh, A. H., Hajabbasi, M. A., &Afyuni, M.** (2008). Germination and growth of selected plants in a petroleum contaminated calcareous soil. Soil&Sediment Contamination, 17(6) : 665-676.

28. **BOFAS**, Directive BOFAS., 2004 : Assainissement des sols des stations-service en Belgique : 153 p.
29. **Carnicer P., Victoria M.** (2007). La pollution ponctuelle des sols : Le Cas Des Stations-service Dans La Région De Bruxelles -Capitale. Gestion de l'environnement. Université Libres Bruxelles : 153.
30. **Chehrit-Hacid F**. (2016). Etude de la variabilité biochimique, physiologique et évaluation des activités biologiques des polyphénols de deux espèces du genre *Pistacia* (*P. lentiscus L.* et *P. atlantica Desf*.). Thèse du Doctorat. U.M.M.T.O. 110 p.
31. **Colin F.** (2000) pollution localisée des sols et des sous-sols par les hydrocarbures et par les solvants chlorés. Eds TEC et DOC Lavoisier. 417p.
32. **Colwell R. K.** (2009). "Biodiversity: Concepts, Patterns and Measurement". In Simon A. Levin (ed.). The Princeton Guide to Ecology. Princeton: Princeton University Press, 663 : 257-263.
33. **Côme D.** (1993). Apports de la recherche à l'amélioration de la qualité germinative des semences. Acad. Agric. Fr, 79 : 35-46.
34. **Concas S., Lattanzi P., Bacchetta G., Barbafieri M., Vacca A.** (2015). Zn, Pb and Hg contents of *Pistacia* lentiscus L. grown on heavy metal-rich soils: implications for phytostabilization. Water, Air, & Soil Pollution, 226(10): 340.
35. **Cristiano G., Camposeo S., Fracchiolla M., Vivaldi G. A., De Lucia B., Cazzato E**. (2016). Salinity Differentially Affects Growth and Ecophysiology of Two Mastic Tree (*Pistacia lentiscus* L.) Accessions.Forests, 7(156): 12.
36. **Cristiano, G., Mastro, G. D., Fracchiolla, M., Lasorella, C., Tufarelli, V., Lucia, B. D., &Cazzato, E.** (2016). Morphological characteristics of different mastic tree (*Pistacia lentiscus* L.) accessions in response to salt stress under nursery conditions. Journal of Plant Sciences.11(4) : 75-80.
37. **Debbabi H., Nemri K., Riahi H**. (2017). Antimicrobial effects of Pistacia lentiscus L. Foliar extracts on fresh turkey breast de dinde. Jornal of new sciences, Agriculture and Biotechnology, 40 (1): 2144-2152.
38. **De Giudici G., Medas D., Meneghini C., Casu M. A., Gianoncelli A., Iadecola A., Lattanzi P.** (2015). Microscopic biomineralization processes and Zn bioavailability: a synchrotron-based investigation of *Pistacia lentiscus* L. roots. Environmental science and pollution research, 22(24): 19352-19361.
39. **Djerrou Z., Djaalab H., Riachi F., Serakta M., Chettou A., Maameri Z., Boutobza B., Hamdi-Pachaa Y**. (2013). Irritantcy potential and sub-acute dermal toxicity study of *Pistacia lentiscus* fatty oil as a topical traditional remedy.African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines, 10(3): 480-489.
40. **Di Castri.** (1967). Symposium on methods of study in soil ecology organized jointly by Unesco and the International Biological Programme (IBP). Paris. 275 p.
41. **Doyle C.** (2008). La phytoremediation une solution à la contamination des sites de traitement du bois ?.Thèse de doctorat. Universitaire de Formation en Environnement Sherbrooke, Québec, Canada. 80 p.
42. **Duffy J. E.** (2003). Biodiversity loss, trophic skew and ecosystem functioning. Ecologyletters. 6(8) : 680-687.

43. **Elgubbi H., Alfageih L., Zorab A., Elmeheshi F. (2017).** *Pistacia lentiscus* tree and its role in diddance of environmental polluters. EC Nutrition 10(1): 08-14.
44. **EPA. Environment Protection Agency.** (2000). Introduction to phytoremediation, Washington. DC. 20460. EPA/600/R- 99/107, 72.
45. **EPA**, **Environmental Protection Agency**. (2001). Selecting and Using Phytoremediation for Site Cleanup, Washington, DC 20460. EPA 542-R-01-006, 25.
46. **Ewers B. E., Oren R., Sperry J. S.** (2000). Influence of nutrient versus water supply on hydraulic architecture and water balance in Pinustaeda. Plant, Cell & Environment, 23(10): 1055-1066
47. **Fattal P.** (2008). Pollution des cotes par les hydrocarbures. Presse universitaire de Rennes : 498p.
48. **Féral J.P., Taton T.** (2011). Érosion de la biodiversité. Eds CNRS, 108-110 p.
49. **Flexas J., Gulias J., Jonasson S., Medrano H., Mu M**. (2001). Seasonal patterns and control of gas exchange in local populations of the Mediterranean evergreen shrub Pistacia lentiscus L. ActaOecologica, 22 : 33-43.
50. **Food and Agriculture Organization of the United Nations, (FAO)**. (2015). Status of The world's soil resources, chapter 2: the role of soils in ecosystem processes :21.
51. **Frank S. L. H.** (2000). Phytoremediation and Bioremediation of Petroleum Contaminated Soils and Wastes". University of Canterbury Christchurch, New Zealand, PhD thesis : 295 p.
52. **Freschet G.T., Violle C., Roumet C., Garnier E. (**2018). Interactions entre le sol et la végétation : structure des communautés de plantes et fonctionnement du sol. : structure des communautés de plantes et fonctionnement du sol. Les sols au cœur de la zone critique: écologie. Eds ISTE, London, UK : 83-99 p.
53. **Garcia-Fayos P., Verdú M**. (1998). Soil seed bank, factors controlling germination and establishment of a Mediterranean shrub: *Pistacia lentiscus* L. *Acta Oecologica*, 19(4): 357-366.
54. **Gaudu F.** (2014). Bioremédiation des sols pollués aux hydrocarbures. Thèse master. Biologie gestion marketing Université de rennes : 127 p.
55. **Gallego J. L.R., Loredo J., Llamas J.F., Vazquez F., Sanchez J.** (2001). Bioremediation of diesel-contaminated soils: evaluation of potential in situ techniques by study of bacterial degradation. Biodegradation, 12(5): 325-335.
56. **Gennadiev A. N., Pikovskii Y. I., Tsibart A. S., Smirnova M. A**. (2015). Hydrocarbons in Soils:Origin, Composition, and Behavior (Review). EurasianSoil Science, 48(10) : 1076–1089.
57. **Giddings B., Hopwood B., O'Brien G.** (2002). Environment, economy and society: fitting them together into sustainable development. Sustain Dev, 10: 187-196.
58. **Grenier V., PitreF.E., Nissim W. G., LabrecqueM.** (2015) Genotypic differences explain most of the response of willow cultivars to petroleum-contaminated soil. Trees, 29(3): 871-881.
59. **Hamilton A. J.** (2005). Species diversity or biodiversity?. Journal of Environmental Management, 75. (1) : 89-92.

60. **Hamoudi-Belarbi L., Hamoudi S., Belkacemi K., Nouri L., Bendifallah L., Khodja M.** (2018). Bioremediation of Polluted Soil Sites with Crude Oil Hydrocarbons Using Carrot Peel Waste.Environments, 5(11):124.
61. **Hassanshahian M., Cappello S.** (2013). Crude oil biodegradation in the marine environments. Chamy R. Biodegradation-Engineering and Technology. InTech : 101-135.
62. **Havugimana, E., Bhople, B. S., Kumar, A., Byiringiro, E., Mugabo, J. P., & Kumar, A.** (2017). Soil pollution–major sources and types of soil pollutants. Environmental science and engineering.Soil pollution and phytoremediation,11: 53-86.
63. **Hilpert M., Bernat A. M., Ni J., Rule A. M., NachmanK.E.**(2015). Hydrocarbon release during fuel storage and transfer at gas stations: Environmental and health effects. Currentenvironmentalhealth reports, 2(4) : 412-422.
64. **Hooper D. U., Chapin Iii F. S., Ewel J. J., Hector A., Inchausti P., Lavorel S., Schmid B.,Setala H., Symstad A. J., Vandermeer J., Wardle D. A.**(2005). Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. Ecologicalmonographs, 75(1) : 3-35.
65. **ITOPF** Ltd. (2013). Effets de la pollution par les hydrocarbures sur l'environnement. 1 Oliver's Yard, 55 City Road, London EC1Y1HQ, Royaume-Uni, 11.
66. **Jenks M. A., Hasegawa P. M**. (2014). Plant abiotic stress, 2nd eds. Wiley-Blackwell Publishing Inc, Oxford.
67. **Kılınç F. M., Süzerer V., Çiftçi Y. Ö., Onay A., Yıldırım H., Uncuoğlu A. A., Tilkat E., Koc I., Akdemir O. F., Metin Ö. K. (2015).** Clonal micropropagation of Pistacialentiscus L. and assessment of geneticstabilityusingIRAP markers. Plant GrowthRegul, 75 (1): 75-88.
68. **Kisic I., Durn G., Mesic H., Mesic S.** (2010). Effects of hydrocarbons on temporal changes in soil and crops. African Journal of Agricultural Research, 5(14): 1821-1829.
69. **Koshlaf E., Ball A.S.** (2017). Soil bioremediation approaches for petroleum hydrocarbon polluted environments.*in* AIMS Microbiology, 3(1): 25-49.
70. **Kummerová M., Váňová, L., Krulová J., Zezulka, Š.** (2008). The use of physiological characteristics for comparison of organic compounds phytotoxicity, Chemosphere, 71(11): 2050-2059.
71. **Lai T., Cappai G., Carucci A.** (2016). Phytoremediation of Mining Areas: an overview of application in lead - and zinc- contaminated soils. Phytoremediation Management of EnvironementalContaminants,03: 03-27 p.
72. **Landau S., Muklada H., Marcovics A., Azaizeh H.** (2014). Traditional uses of Pistacia lentiscus in veterinary and human medicine.In Medicinal and aromatic plants of the middle-east : 163-180.
73. **Lavorel S., Lebreton J.D., Le Maho Y.**(2017). Les mécanismes d'adaptation de la biodiversité aux changements climatiques et leurs limites. Rapport adopté par l'Académie des sciences : 157p.
74. **Le CorfecY.** (2011). Sites et sols pollués : Gestion des passifs environnementaux. Eds Dunod : 424 p.

75. **Lemière B., Seguin J. J., Guern C., Guyonnet D., Baange P., Darmendail D., Conil P**. (2001). Guide sur le comportement des polluants dans les sols et les nappes. Applications dans un contexte d'evaluation détaillée des risques pour les ressources en eau. BRGM/RP-50662-FR, 103.
76. **Lopez A. S.** (2016). Effets de l'anthropisation sur la diversité fonctionnelle des fourmis et leur participation dans des processus écosystémiques. Thèse de doctorat.Université de Guyane : 179p.
77. **Maestre F. T., Cortina J., Bautista S**. (2004). Mechanisms underlying the interaction between Pinushalepensis and the native late-successional shrub Pistacia lentiscus in a semiarid plantation. Ecography, 27 : 776-786.
78. **Mani D., Kumar C**. (2014). Biotechnological advances in bioremediation of heavy metals contaminated ecosystems: an overview with special reference to phytoremediation.International journal of environmental science and technology, 11(3) : 843-872.
79. **Manisalidis I., Stavropoulou E., Stavropoulos A., BezirtzoglouE.** (2020). Environmental and health impacts of air pollution: À Review. Front. Public Health, 8:14.
80. **Mantyka-pringle C. S., Martin G. T., Rhodes J.** (2011). Interactions between climate and habitat loss effects on biodiversity: a systematic review and meta-analysis. Global Change Biology, 18(4): 1239-1252.
81. **Marchal R., Penet S., Solano-Serena F., Vandecasteele, J. P.** (2003). Gasoline and diesel oil biodegradation. Oil & gas science and technology, 58(4): 441-448.
82. **Mascarello C., Fascella G., ZizzoG.V., Mantovani E., Ruffoni B.** (2007). In Vivo and in Vitro Propagation of *Pistacia lentiscus* L. ActaHorticulturae, (764) : 299-306.
83. **Mathieu A.** (1860). Flore forestière, description et histoire des végétaux ligneux qui croissent spontanément en France et des essences importantes de l'Algérie. 2ème Edition: NANCY. 455 p.
84. **Mohsenzadeh F., Naseri S., Mesdaghinia A., Nabizadeh R., Chehregani A., Zafari D.** (2009).Identification of Petroleum Resistant Plants and Rhizospheral Fungi for Phytoremediation of Petroleum Contaminated Soils.Journal of the Japan Petroleum, 52(4): 198-204.
85. **Morel J. L.** (2012). Phytoremediation des sols contaminés (Des plantes pour guérir les sols). La chimie et la nature :15-184.
86. **Mulas M., Abeltino P., Brigaglia N**. (1997). Evaluation of *Pistacia lentiscus* L. genetic resources to select ecotypes having high efficiency in the colonisation of marginal lands. In Symposium on Plant Biotechnology as a tool for the Exploitation of Mountain Lands, 457: 279-286.
87. **Mulligan C. N., Yong R. N., Gibbs B. F.** (2001). Remediation technologies for metal-contaminated soils and groundwater: an evaluation. Engineering geology. 60. (1-4): 193-207.
88. **Myers N.** (1996). Environmental services of biodiversity. Proceedings of the National Academy of Sciences.93, (7): 2764-2769.

89. **Nguemté P. M., Wafo G. D., Djocgoue P. F., Kengne N. I. M., Wanko N. A.** (2017). Phytoremédiation de sols pollués par les hydrocarbures-évaluation des potentialités de six espèces végétales tropicales. Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science, 30(1) : 13-19.

90. **Nortcliff S., Hulpke H., Bannick C. G., Terytze K., Knoop G., Bredemeier M., Schulte-Bisping, H.** (2006). Soil, 1. Definition, function, and utilization of soil. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry.33. 339-419.

91. **Oudea N.** (2018).Contribution à l'étude de la tolérance au stress salin de *Pistacia lentiscus* L. thèse de master. UniversitéZianeAchour – Djelfa. 61 p.
92. **ONU / PE**, Programme des Nations Unies pour l'environnement (2001). La Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants (POP).
93. **Okrent D.** (1999). Une équité intergénérationnelle et son conflit avec l'équité Intergénérationelle et sur la nécessité de politiques pour guider la réglementation de l'élimination des déchets et d'autres activités présentant des risques à très long terme.Analyse desrisques,19 : 877–901.
94. **Origo, N., Wicherek, S., Hotyat, M.** (2012). Réhabilitation des sites pollués parphytoremédiation. [VertigO] La revue électronique en sciences de l'environnement. 12(2) : 14.
95. **Parus A., Szulc P., &Zbytek Z.** (2017). Effect of petroleum derivatives contaminated soil on germination and early growth of chosen plants. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering, 62(4): 70-74.
96. **Patej S.** (2002). Etude de scenarios dangereux en stations-service. Rapport final de l'INERIS DRA 40862. 38p.
97. **Peer W.A., Baxter I.R., RichardsE.L., Freeman J.L., Murphy A.S.** (2005). Phytoremediation and hyperaccumulator plants.In Molecular biology of metal homeostasis and detoxification. Springer, Berlin, Heidelberg : 299-340.
98. **Picot A., Montandon F., Pons C., Keck G., Guérit J**. (2013). Ecotoxicochimie appliquée aux hydrocarbures. Chantal Arpino: Paris. Emmanuel Leclerc: 2-668 p.
99. **Pilon S.E**. (2005). Phytoremediation. Annual review of Plant Biology, 56 : 15-39.

100. **Primack R. B., Sarrazin F., Lecomte, J.** (2012). Biologie de la conservation. eds Dunod. Paris: 388 p.
101. **Ponge J. F.** (2015). Soil as an ecosystem.BiolFertil Soils. 51: 645 – 648.
102. **Ramade F.** (2012).Eléments d'écologie appliquée. Action de l'homme sur la biosphère. 7éme Eds Dunod. 824 p.
103. **Rao M.A., Scelza R., Scotti R., Gianfreda L.**(2010). Role of enzymes in the remediation of polluted environments. Journal of soil science and plant nutrition, 10. (3):333-353.
104. **Rawat U. S., Agarwal N. K**. (2015). Biodiversity: concept, threats and conservation. Environment Conservation Journal. 16. (3):19-28.
105. **RicklefsR.E., Miller G.L.** (2005). Ecologie. Bruxelles: De Boeck Université.821 p.
106. **Roger P. A., Jacq V.** (2000). Introduction à la bioremédiation des sols, des eaux et de l'air. Université de Provence AIX-Marseille 1 E.S.G.B.M.A - E.S.I.L. Luminy, 90 p.

107. Ruley J.A., Tumuhairwe J.B., Amoding A., Opolot E., Oryem-Origa H., Basamba T. (2019). Évaluation des plantes pour phytoremédiation des sols contaminés par les hydrocarbures dans la zone humide du Sudd au Soudan du Sud. Terre Environ, 65(9): 463-469.

108. Secretariat of the Convention on Biological Diversity. (2010). Global Biodiversity Outlook 3 Montréal: 96.

109. Serra A.A. (2015). Réponses écophysiologiques et moléculaires des plantes aux stress xénobiotiques complexes de faible intensité : implications dans les capacités de protection environnementale des bandes enherbées. Thèse doctorat. Université RENNES : 306 p.

110.Solano S. F., Marchal R., Vandecasteele J.P.(2001). Biodegradation of gasoline in the environment: from overall assessment to the case of recalcitrant hydrocarbons. Oil&Gas Science And Technology-Revue D IFP Energies Nouvelles.56. (5): 479-498.

111. Solomon L., Ogugbue C.J., Okpokwasili G.C. (2018). Post Remediation Assessment of Residual Hydrocarbons in Contaminated Soil in Ogoni Using Gas Chromatographic Fingerprinting Technique and Phytotoxicity Bioassay. J Pet Environ Biotechnol, 9(367) : 1-5.

112. Soltani M. (2004). Distribution lipidique et voies métaboliques chez quatre souches Gram négatif hydrocarbonoclastes, variation en fonction de la source de carbone. Thèse de doctorat de l'université de Paris. 284p.

113. Soltani E., Ghadri-Far., Baskin C.C., Baskin M.J. (2015). Problems whith using mean germination time to caclculate rate of seed germination. Australian Jornal of Botany, 63(8): 631-635.

114. Sterckeman T., Ouvrard S., Leglize P. (2011) Phytoremédiation des sols. Les techniques de l'ingénieur.

115. SundstromS.M., Allen C. R., Barichievy C. (2012). Species, functional groups, and thresholds inecological resilience. Conservation Biology.26. (2): 305-314.

116. Symstad A. J., Siemann E., Haarstad J. (2000). An experimental test of the effect of plant functional group diversity on arthropod diversity. Oikos. 89. (2): 243-253.

117.Tassin C. (2012). Paysage des végétaux du domaine méditerranéen. Ed IRD, Marseille, 421p.

118.Técher D. (2011). Réhabilitation des sols pollues par des hap grâce aux bactéries associées a la rhizosphère de miscanthus x giganteus. Thèse deDoctorat. Université Paul Verlaine De Metz. 308 p.

119.Trubat R., Cortina J., Vilagrosa A. (2006). Plant morphology and root hydraulics are altered by nutrient deficiency in *Pistacia lentiscus*. L, 20(3) :334–339.

120.Truskewycz A., Gundry T. D., Khudur L. S., Kolobaric A., Mohamed Taha M., Arturo Aburto-Medina A., Andrew S. Ball A. S., Shahsavari E. (2019). Petroleum Hydrocarbon Contamination in Terrestrial Ecosystems-Fate and Microbial Responses. Molecules, 24(18) : 1-20.

121.Tsakaldimi, M., & Ganatsas, P. (2001). Treatments improving seeds germination of two mediterraneansclerophyll species Ceratoniasiliqua and *Pistacia lentiscus*. In Proceedings of Third Balkan Scientific Conference on Study, Conservation and Utilization of Forest Resources, Bulgaria, 2: 6.

122.Union européenne. (2010). L'usine de la vie pourquoi la biodiversité des sols est- elle importante ? 24.

123.Van der HeulR.M. (2009). Environmental Degradation of petroleum hydrocarbons. Utrecht University /IRAS, 3061655, 53 p.

124.Vasques, A. R., Pinto, G., Dias, M. C., Correia, C. M., Moutinho-Pereira, J. M., Vallejo, V. R., Keizer, J. J. (2016). Physiological response to drought in seedlings of *Pistacia lentiscus* (mastic tree). New forests, 47(1) :119-130.

125.Vavasseur A., Richaud P., Misson P.J. (2008). Des plantes pour dépolluer ou stabiliser des éléments toxiques dans les sols et les eaux. Biofutur, (295): 37-40.

126.Vogelmann E.S., Reichert J.M., Prevedello J., Awe G.O., Mataix-Solera J. (2013). Can occurrence of soil hydrophobicity promote the increase of aggregates stability? CATENA,110 :24-31.

127.Vrouvaki I., Koutra E., Kornaros M., Avgoustakis K., Lamari F.N., Hatziantoniou S. (2020). Polymeric Nanoparticles of Pistacia lentiscus var. chia Essential Oil for Cutaneous Applications. Pharmaceutics, 12 (4): 1-15.

128.Wang Y., Feng J., Lin Q., Lyu X., Wang X., Wang G. (2013). Effets of crude oil contamination on soil physical and chemical properties in Momoge Wetland of China. Chinese Geographical Science, 23(6) : 708-715.

129.Wilson E.O. (1993). La diversité de la vie.Eds Odile Jacob. Paris:496 p.

130.Yeboah, S.A., Allotey A. N. M., Biney E. (2015). Purification of industrial wastewater with vetiver grasses (vetiveriazizanioides): the case of food and beverages wastewater in Ghana. Asian Journal of Basic and Applied Sciences, 2(2): 1-14.

131.Yıldırım H., Çalar N., Onay A. (2018). An effective protocol for in vitro germination and seedling development of lentisk (Pistacia lentiscus L.). Acta Sci. Pol. HortorumCultus, 17(4): 3-13.

132.Yuniati M. D. (2018). Bioremediation of petroleum-contaminated soil: A Review. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 118. (012063):1755-1315.

133.Zairi M., Rouis M. J., Shabou, R. (2002). Étude expérimentale de la biorestauration des sols souillés par les hydrocarbures. Déchets sciences & techniques. Revue Francophone D'écologie Industrielle. (27) : 23-29.

134.Zuffrey A., Febbraro I. (2005). La pollution lumineuse.

Résumé :

La contamination des sols aux hydrocarbures affecte la vie des organismes et le fonctionnement des écosystèmes, car la qualité du sol influence et détermine la qualité des êtres vivants, tant les plantes que les animaux. Par conséquent, des mesures correctives doivent être prises afin que les terrains pollués puissent être réutilisés pour diverses activités en tout sécurité. La phytoremédiation est une méthode biologique qui emploie des plantes pour extraire ou stabiliser les polluants afin de restaurer des sols pollués. Dans cette étude la plante de pistachier lentisque (*Pistacia lentiscus*. L) a été utiliser comme phytoremediateur, les graines de cette espèce sont semis dans des sols pollués aux hydrocarbures et témoins issue d'une station-service.

Le présent travail a pour objectif d'étudier l'effet de la pollution du sol aux hydrocarbures sur les paramètres physiologiques (la germination, la mortalité) et biométriques (la hauteur des pousses, l'élongation racinaire et la biomasse sèche de système aérien et racinaire) de *Pistacia lentiscus* et de déduire le potentiel de cette plante à la phytoremediation.

Les résultats obtenus ont montré que ces polluants affectaient les paramètres biométriques essentiellement la biomasse sèche de système aérien des plantes, tandis que les paramètres physiologiques ne sont pas affectés.

La pollution aux hydrocarbures n'a pas inhibé la germination des graines de *Pistacia lentiscus* et cette dernière a présenté un taux de survie maximal. *P. lentiscus* pourrait être classée comme tolérante aux hydrocarbures en termes de survie relative pendant le stade précoce de la croissance et pourrait être exploré pour la phytoremédiation malgré le faible développement dans des conditions de pollution.

Les mots clés : *Pistacia lentiscus. L*, hydrocarbure, phytoremédiation, germination, survie.

Summary:

The contamination of soils with hydrocarbons affects the life of organisms and the functioning of ecosystems, because the quality of the soil influences and determines the quality of living beings, both plants and animals. Therefore, corrective measures must be taken so that polluted land can be safely reused for various activities. Phytoremediation is a biological method that uses plants to extract or stabilize pollutants to restore polluted soils. In this study the *lentiscus pistachio* plant (*Pistacia lentiscus*. L), was used as a phytoremediator, the seeds of this species are sown in soil polluted with hydrocarbons and control from a service station.

This work aims to study the effect of soil pollution with hydrocarbons on physiological (germination, mortality) and biometric (shoot height, root elongation and dry biomass of the aerial system and root) of *Pistacia lentiscus* and to deduce the potential of this plant for phytoremediation.

The results obtained showed that these pollutants affected the biometric parameters mainly the dry biomass of the plant air system, while the physiological parameters were not affected.

Oil pollution did not inhibit seed germination of *Pistacia lentiscus*, and this species showed maximum survival. *P. lentiscus* could be classified as oil tolerant in terms of relative survival during the early stage of growth and suitable for phytoremediation despite poor development under polluted conditions.

The key words: *Pistacia lentiscus*. L, hydrocarbon, phytoremediation, germination, survival.