

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

UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU  
FACULTE DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET DES SCIENCES AGRONOMIQUES  
DEPARTEMENT D'ECOLOGIE ET ENVIRONNEMENT



## *Mémoire de fin d'études*

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Ecologie et Environnement

Spécialité : Protection des écosystèmes

### *Thème*

**Etude de l'efficacité de l'utilisation des plantes  
ornementales dans la décontamination d'un sol  
pollué aux carburants**

#### **Présenté par**

MERABTI Hadjira

LOUNNAS Sarah

Soutenu le 25/09/2025

#### **Devant le jury composé par :**

Président : Mr SADOU S.

MCB

UMMTO

Promotrice : Mme ALI AHMED S.

MCB

UMMTO

Examinatrice : Mme AKLI A.

MCB

UMMTO

**Année universitaire : 2024-2025**

## *Remerciements*

Nous exprimons avant tout notre gratitude à Dieu le Tout-Puissant, qui nous a accordé la santé, la force, le courage et la persévérance nécessaires pour mener à bien ce travail.

Nos remerciements les plus sincères vont à notre promotrice, **Mme ALI AHMED S.**, Maître de Conférences B au département d'Écologie et Environnement, pour la qualité de son encadrement scientifique, la pertinence de ses orientations, son accompagnement constant ainsi que ses encouragements bienveillants qui ont été essentiels à la réalisation de ce mémoire.

Nous adressons également notre profonde reconnaissance aux membres du jury, le président, **Mr SADOU S.**, MCB, et l'examinatrice, **Mme AKLI A.**, MCB, pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant d'évaluer ce travail et pour l'intérêt qu'ils lui ont accordé.

Nous remercions aussi Mme ALI AHMED D., Directrice du laboratoire PSEMRVC pour nous avoir permis d'y réaliser la partie expérimentale et Mme ABROUS H., ingénieure du laboratoire PSEMRVC pour son assistance et sa disponibilité.

Nos pensées de gratitude s'étendent à l'ensemble de nos enseignants, qui, tout au long de notre parcours universitaire, nous ont transmis leur savoir et contribué à notre formation et à notre réussite.

Enfin, nous réservons une place particulière à nos familles ainsi qu'à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont apporté leur aide, leur soutien ou leurs encouragements dans l'aboutissement de ce modeste travail.

# Dédicaces

À nos parents

Votre amour, votre patience et votre dévouement ont été le pilier de notre réussite. Vous avez toujours cru en nous, même dans les moments difficiles, et c'est grâce à vous que nous avons pu atteindre cet objectif. Ce succès vous appartient en premier lieu. Nous vous en sommes infiniment reconnaissants.

À notre famille bien-aimée

Votre amour inconditionnel, votre soutien et votre patience ont été notre plus grande force tout au long de ce parcours. Merci pour votre présence, votre confiance et votre encouragement à chaque étape.

À nos professeurs,

Votre savoir, votre pédagogie et votre dévouement ont été essentiels pour nous guider vers la réussite. Nous vous sommes profondément reconnaissants pour votre engagement et votre passion.

À mes sœurs et frère,

Votre soutien, vos conseils et votre présence ont toujours été une source d'inspiration. Merci pour votre amour et votre solidarité.

À nos amis et à toute la promo de la protection des écosystèmes,

Ce succès est aussi le fruit de notre travail collectif, de nos échanges et de notre engagement commun pour la préservation de notre planète. Merci pour votre camaraderie et votre motivation.

Ensemble, nous avons réussi à franchir cette étape importante. Ce mémoire est le symbole de notre détermination et de notre passion pour la protection de l'environnement.

**Hadjira et Sarah**

## Liste des figures

|                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figure 1</b> : Localisation du site d'étude (Google Earth, 2025).....                                         | 11 |
| <b>Figure 2</b> : Dispositif expérimental de la culture en pots des plantes ornementales des quatre espèces..... | 14 |
| <b>Figure 3</b> : Observation des vers de terre après expérimentation.....                                       | 16 |
| <b>Figure 4</b> : Phases de germination du maïs observées en laboratoire.....                                    | 16 |
| <b>Figure 5</b> : Protocole de mesure de la respiration microbienne du sol.....                                  | 17 |
| <b>Figure 6</b> : Biomasse végétale des plantes des quatre espèces.....                                          | 19 |
| <b>Figure 7</b> : Teneur relative en eau de quatre espèces végétales.....                                        | 20 |
| <b>Figure 8</b> : Production cumulée de CO <sub>2</sub> dans les sols cultivés par les quatre espèces.....       | 21 |
| <b>Figure 9</b> : taux de mortalité des vers de terre.....                                                       | 21 |
| <b>Figure 10</b> : taux de germination des grains de maïs.....                                                   | 22 |
| <b>Figure 11</b> : Évaluation de l'activité de catalase par titrage au KMnO <sub>4</sub> .....                   | 23 |

## Liste des tableaux

|                                                                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tableau 1</b> : Plantes ornementales utilisées dans notre mémoire.....                                                                          | 8  |
| <b>Tableau 2</b> : Plantes ornementales utilisées dans notre mémoire.....                                                                          | 13 |
| <b>Tableau 3</b> : La composition des HA dans les 4 espèces ( <i>Crassula</i> , <i>Chlorophytum</i> , <i>Pothos</i> , <i>Syngonium</i> ).....      | 24 |
| <b>Tableau 4</b> : La composition des HA dans le sol cultivé par ( <i>Crassula</i> , <i>Chlorophytum</i> , <i>Pothos</i> , <i>Syngonium</i> )..... | 24 |

## Liste des abréviations

**HC** : Hydrocarbures

**HA** : Hydrocarbure aromatique

**Co**: *Crassula ovata*

**Chc** : *Chlorophytum comosum*

**Ssp** : *Syngonium sp.*

**Psp** : *Pothos sp.*

**BV** : Biomasse végétale

**RWC** : Relative water content

# Sommaire

|                                    |          |
|------------------------------------|----------|
| <b>Introduction générale</b> ..... | <b>1</b> |
|------------------------------------|----------|

## **CHAPITRE I : Synthèse bibliographique**

|                                                                          |   |
|--------------------------------------------------------------------------|---|
| 1- Généralités sur la pollution des sols et les carburants .....         | 4 |
| 1-1 Définition du carburant .....                                        | 4 |
| 1-2- Classification des Carburants .....                                 | 4 |
| 1-3- Devenir des carburants dans le sol .....                            | 5 |
| 2- Phytoremédiation .....                                                | 6 |
| 2-1- Phytoremédiation par les plantes ornementales .....                 | 6 |
| 2-2 La circulation des hydrocarbures dans les plantes ornementales ..... | 9 |
| 3- La phytoremédiation des sols .....                                    | 9 |

## **CHAPITRE II : Matériel et méthodes**

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| 1- Présentation du site d'échantillonnage .....                    | 11 |
| 2- Matériel .....                                                  | 12 |
| 2-1- Matériel végétal .....                                        | 12 |
| 2-2- Maïs .....                                                    | 12 |
| 2-3- Carburant .....                                               | 12 |
| 2-4- Vers de terre .....                                           | 12 |
| 2-5 Sol .....                                                      | 12 |
| 3- Méthodes .....                                                  | 14 |
| 3-1- Echantillonnage du sol .....                                  | 14 |
| 3-2 Préparation du sol .....                                       | 14 |
| 3-3-Dispositif expérimentale .....                                 | 14 |
| 3-4- Evaluation de la croissance des plantes .....                 | 15 |
| 3-5- RWC (Relative Water Content) .....                            | 15 |
| 3-6- Evaluation de l'efficacité de la décontamination du sol ..... | 15 |

### **Chapitre III : Résultats et discussion**

|                                                            |    |
|------------------------------------------------------------|----|
| 1-Résultats.....                                           | 19 |
| 1-1-Biomasse végétale.....                                 | 19 |
| 1-2-RWC (Relative water content).....                      | 20 |
| 1-3-Activité biologique globale.....                       | 20 |
| 1-4-Test sur les vers de terre.....                        | 21 |
| 1-5-Test de germination du maïs.....                       | 22 |
| 1-6-Test de catalase.....                                  | 22 |
| 1-7-Analyse qualitative des hydrocarbures aromatiques..... | 23 |
| 2- Discussion.....                                         | 25 |

|                                 |           |
|---------------------------------|-----------|
| <b>Conclusion générale.....</b> | <b>29</b> |
|---------------------------------|-----------|

#### **Références bibliographiques**

#### **Annexes**



# **Introduction générale**

La pollution des sols par les hydrocarbures, notamment les carburants, constitue une problématique environnementale critique à l'échelle mondiale, en raison des déversements accidentels, des fuites lors du stockage ou de l'usage des produits pétroliers (AIE, 2020). Ces composés, riches en hydrocarbures aromatiques polycycliques et en substances toxiques, s'accumulent dans les sols, perturbant durablement les écosystèmes et affectant la qualité des ressources naturelles (SP, 2020). Les stations-service représentent une source majeure de cette contamination, en raison de la fréquence des fuites de carburants et lubrifiants. Leur impact est aggravé par la mobilité élevée des polluants, qui peuvent migrer vers les eaux souterraines, compromettant la qualité de l'eau potable et la santé humaine (Khan et al., 2012).

En Algérie, cette problématique est particulièrement préoccupante dans les zones urbaines et périurbaines où les stations-service sont souvent anciennes et insuffisamment entretenues. Le manque de réglementation environnementale stricte, couplé à une surveillance limitée, accentue les risques de contamination chronique des sols et des nappes phréatiques (Khellaf & Zerdaoui, 2010).

Les sols contaminés par des carburants peuvent être traités par diverses techniques classées selon leur nature physique, chimique, thermique ou biologique. Les méthodes physiques telles que le pompage-traitement (pump and treat) ou la ventilation du sol (soil vapor extraction) sont historiquement utilisées, mais présentent plusieurs limites : elles sont souvent longues, onéreuses, peu efficaces sur les hydrocarbures fortement adsorbés, et inadaptées aux contaminations profondes et hétérogènes (FRTR, 2007 ; EPA, 2014). Les techniques chimiques, notamment l'oxydation in situ, permettent une dégradation rapide des hydrocarbures à l'aide d'agents oxydants puissants, mais leur efficacité reste tributaire de la nature du sol, et elles peuvent engendrer des sous-produits toxiques tout en perturbant la microfaune édaphique (Watts & Teel, 2006). De leur côté, les procédés thermiques, tels que le traitement thermique in situ, offrent un haut taux d'élimination des polluants volatils mais nécessitent une infrastructure lourde, consomment énormément d'énergie, et entraînent une stérilisation biologique du sol, ce qui compromet toute revégétalisation future (Kuppusamy et al., 2016). À l'inverse une des stratégies biologiques les plus puissantes est la phytoremédiation elle représente une solution innovante, écologique et durable. Cette approche repose sur l'utilisation de plantes capables d'extraire, de dégrader ou de stabiliser les hydrocarbures, tout en favorisant la restauration biologique du sol grâce à l'action synergique de la rhizosphère. Elle se distingue par son faible coût, son absence de résidus secondaires, sa facilité de mise en œuvre sur de grandes surfaces, et sa compatibilité avec les

conditions semi-arides comme celles de l'Algérie. Des espèces végétales telles que *Tamarix gallica* ou *Phragmites australis* ont démontré une tolérance élevée à la contamination et un bon potentiel de dégradation, ce qui positionne la phytoremédiation comme une stratégie prioritaire pour la dépollution des sols en contexte méditerranéen (Megharaj et al., 2011 ; Ghezlaoui et al., 2019 ; Bensadok et al., 2021).

Plusieurs travaux scientifiques ont étudié l'efficacité des plantes alimentaires, notamment les légumineuses (*Vicia faba*, *Glycine max*), le riz (*Oryza sativa*) et le blé (*Triticum aestivum*), dans la phytoremédiation des sols contaminés par des hydrocarbures et des métaux lourds. Par exemple, *Glycine max* a montré une bonne capacité à absorber des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dans des sols pollués (Merkl et al., 2005), tandis que *Oryza sativa* a été utilisé pour évaluer la phytoaccumulation de polluants dans des zones rizicoles contaminées (Liu et al., 2010). Cependant, l'utilisation de ces plantes comestibles pose un risque sanitaire majeur, car les contaminants peuvent migrer vers les parties consommées, intégrant ainsi la chaîne alimentaire humaine et animale (Chibuike & Obiora, 2014). Ce risque est d'autant plus préoccupant dans les zones agricoles où la sécurité alimentaire est une priorité. En comparaison, les plantes ornementales représentent une alternative plus sûre : elles sont non comestibles, esthétiques, et présentent une forte capacité d'adaptation aux sols dégradés tout en évitant tout transfert de polluants vers les êtres vivants (Akinola et al., 2020 ; Sheoran et al., 2011). Leur utilisation garantit une dépollution efficace et durable, sans compromettre la santé publique et s'applique directement in situ, permettant la dépollution des sols sur site sans excavation, ce qui en fait une méthode économique, écologique et peu intrusive (Akinola et al., 2020).

Notre travail vise à évaluer le potentiel phytoremédiateur de quatre espèces ornementales dans la décontamination de sols pollués par les carburants. Il s'agit de caractériser leur capacité à absorber, dégrader ou immobiliser ces contaminants, afin de proposer une approche biotechnologique durable pour la remédiation in situ des sites contaminés.

Le présent mémoire est structuré en trois chapitres. Le premier chapitre constitue une revue de la littérature portant sur la contamination des sols par les hydrocarbures, leur classification, ainsi que leurs effets à différentes échelles écologiques. Il aborde également le rôle des plantes ornementales dans la phytoremédiation.

Le deuxième chapitre décrit la station d'étude ainsi que le matériel employé, en détaillant les méthodes expérimentales utilisées pour évaluer l'efficacité de la décontamination. Il présente également les protocoles méthodologiques mis en œuvre pour la réalisation de cette étude.

Le troisième chapitre est dédié à l'exposé des résultats expérimentaux, ainsi qu'à leur interprétation et discussion. La synthèse de l'étude est conclue par une conclusion générale, accompagnée de propositions de quelques perspectives de recherche.



**Chapitre I**  
Synthèse bibliographique

## 1-Généralités sur la pollution des sols et les carburants

La pollution des sols se réfère à la contamination de la couche terrestre par des substances chimiques ou biologiques nocives, altérant ainsi leur qualité et leur aptitude à soutenir la biodiversité. Cette contamination peut résulter de diverses origines, notamment les activités anthropiques telles que l'industrie, l'agriculture et l'urbanisation, ainsi que de phénomènes naturels tels que les inondations ou les éruptions volcaniques. Un sol considéré comme pollué est défini comme un sol présentant des concentrations en substances ou en mélanges de substances supérieures aux seuils réglementaires en vigueur, susceptibles d'entraîner des modifications biologiques, physiques et chimiques du milieu. Parmi ces substances, on retrouve principalement les métaux lourds, les hydrocarbures, les pesticides, les produits chimiques industriels et d'autres déchets toxiques (Bardos et Liedekerke, 2013).

**1-1 Carburant:** est une substance ou un mélange de substances capable de libérer de l'énergie dans le cadre d'une réaction chimique exothermique, généralement une combustion, pour produire un travail ou de la chaleur. La performance et la compatibilité environnementale d'un carburant dépendent de ses propriétés chimiques et physiques, telles que la calorificité, la composition, la volatilité et la teneur en composés polluants (Saeed et al., 2018).

### 1-2- Classification des Carburants

Les carburants peuvent être classés selon plusieurs critères, notamment leur composition chimique, leur origine, leur état physique et leur usage. Cette classification permet d'appréhender la diversité des carburants utilisés dans les systèmes de propulsion et de production d'énergie.

#### 1-2-1-Classification en fonction de la composition chimique :

##### 1-2-1-1 Hydrocarbures liquides :

Comme essence, diesel et kérosène.

##### 1-2-1-2 Gazeux :

Comme le gaz naturel et le gaz de pétrole liquéfié (GPL)

#### 1-2-2 Classification selon l'origine :

**2-2-1 Carburants fossiles :** issus de la décomposition de matières organiques enfouies sur des millions d'années, tels que le pétrole et le gaz naturel (Yilmaz et al, 2021).

**1-2-2-2 Carburants renouvelables ou alternatifs :**

Comme le bioéthanol, biodiesel et l'hydrogène

**1-2-3 Classification selon l'usage :**

Carburants pour moteurs à combustion interne : essence, diesel, GPL, kérosène.

Carburants pour turbines ou usages spécifiques : kérosène, hydrogène.

**1-3-Devenir des carburants dans le sol**

Lorsqu'ils sont déversés ou dégradés dans le sol, les hydrocarbures et autres composés présents dans les carburants subissent une série de processus physico-chimiques et biologiques qui déterminent leur persistance, leur transformation et leur élimination.

**1-3-1-Infiltration et migration**

Après leur déversement, les hydrocarbures présents dans les carburants peuvent s'infiltrer dans le sol, migrer vers les eaux souterraines ou rester en surface selon leur viscosité, leur solubilité et la nature du sol (Wang et al., 2017). La migration dépend également de la porosité et de la perméabilité du sol.

**1-3-2-Bioaccumulation et biodégradation**

Les microorganismes présents dans le sol, tels que certaines bactéries et champignons, jouent un rôle clé dans la dégradation des hydrocarbures par des processus de biodégradation aérobie ou anaérobie. La biodégradation est influencée par la composition chimique des carburants, la disponibilité en oxygène, la température, le pH, et la présence d'éléments nutritifs (Gauthier et al, 2019).

Les hydrocarbures légers, comme l'essence, sont généralement plus biodégradables que les hydrocarbures lourds ou aromatiques, mais certains composés, comme les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), ont une forte résistance à la dégradation et peuvent persister longtemps dans le sol (Gauthier et al., 2019).

### **1-3-3- Transformation chimique**

Les hydrocarbures peuvent subir des réactions de transformation, telles que l'oxydation, la cyclisation ou la formation de composés plus toxiques ou plus stables, ce qui peut compliquer leur élimination naturelle (Wang et al., 2017).

### **1-3-4-Élimination et remédiation**

Les stratégies de traitement incluent la bioremédiation, l'excavation et l'élimination, la thermorégulation ou la percolation in situ. La bioremédiation, en particulier, exploite la capacité des micro-organismes à dégrader les hydrocarbures, permettant une restauration écologique du site contaminé (Gauthier et al., 2019).

## **2-Phytoremédiation :**

La phytoremédiation est une technique de dépollution utilisant les capacités naturelles des plantes pour éliminer ou stabiliser les contaminants présents dans l'environnement, notamment dans le sol, l'eau ou l'air (Garbinski et al., 2020). Son objectif principal est de restaurer la qualité environnementale de sites contaminés de manière durable et économique, en exploitant des processus biologiques spécifiques. Parmi ces mécanismes, la phytoextraction consiste en l'absorption et l'accumulation des polluants, tels que les métaux lourds, dans les parties aériennes ou racinaires des plantes (Baker et al., 2000). La phytostabilisation, quant à elle, vise à immobiliser ces contaminants dans le sol pour réduire leur biodisponibilité, limitant ainsi leur lixiviation ou dispersion (Meharg et Macnair, 1992). La phytodégradation implique la dégradation métabolique des substances toxiques par les enzymes végétales ou via la rhizosphère, tandis que la phytovolatilisation concerne l'absorption puis l'évaporation ou l'émission de contaminants sous forme volatile (Salt et al., 2013). Ces mécanismes permettent ainsi d'atténuer la pollution de façon écologique, en exploitant la synergie entre végétaux et micro-organismes pour décontaminer efficacement les sites pollués.

### **2-1-Phytoremédiation par les plantes ornementales**

Les plantes ornementales sont des végétaux cultivés principalement pour leur attrait esthétique, tels que leur floraison, leur feuillage ou leur forme, afin d'embellir les espaces intérieurs et extérieurs. Selon la FAO (2004), elles sont sélectionnées pour leur apparence visuelle et leur parfum, jouant un rôle essentiel dans la valorisation paysagère et la biodiversité urbaine.

Les plantes ornementales jouent un rôle crucial dans la décontamination des sols pollués par les carburants en exploitant leurs capacités de phytoremédiation. Ces végétaux peuvent contribuer à réduire la biodisponibilité des carburants dans le sol à travers des mécanismes tels que la phytostabilisation, la phytodégradation et la phytovolatilisation. La phytostabilisation consiste à immobiliser les contaminants dans le sol, limitant ainsi leur mouvement vertical ou horizontal, tandis que la phytodégradation implique la dégradation métabolique des carburants par les enzymes végétales ou en collaboration avec des micro-organismes présents dans la rhizosphère (Yin et al., 2018). De plus, la capacité des plantes ornementales à tolérer des concentrations élevées de polluants, combinée à leur croissance rapide et à leur adaptabilité environnementale, en fait des candidates idéales pour la restauration écologique des sites contaminés. Leur utilisation permet non seulement d'atténuer la pollution, mais aussi d'intégrer des stratégies de réhabilitation dans des espaces esthétiques ou urbains, valorisant ainsi la dimension écologique et paysagère du processus de dépollution (Alves et al., 2019). Ces plantes contribuent à un processus de dépollution durable en mobilisant des mécanismes biologiques efficaces pour réduire la pollution par des carburants (tableau 1).

Des études ont confirmé que la capacité d'élimination du phosphore est principalement observée chez les plantes à croissance rapide ainsi que chez celles dotées d'un système racinaire plus développé en profondeur (Prodanovic et al., 2019). Par ailleurs, une autre recherche met en évidence la capacité d'absorption et d'accumulation de contaminants industriels, tels que le cadmium, le zinc, le cuivre et le plomb, au niveau des feuilles d'arbres croissant dans des sols contaminés, y compris dans des contextes urbains (Czaja et al., 2020). Ces études sont récapitulées dans le tableau 1.

Tableau1 : Quelques plantes ornementales utilisées en phytoremédiation.

| Plantes                                        | Familles             | Caractéristiques principales                                                 | Capacité de décontamination                                                         | Références          |
|------------------------------------------------|----------------------|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| <i>Moutarde brune</i><br><i>Brassicajuncea</i> | <i>Brassicaceae</i>  | Plante herbacée à croissance rapide, tolérance à divers sols pollués         | Phytoextraction de métaux lourds (Pb, Cd, Zn)                                       | Kumar & Singh, 2012 |
| <i>Tournesol</i><br><i>Helianthusannuus</i>    | <i>Asteraceae</i>    | Tournesol, grande capacité d'accumulation de métaux, racines profondes       | Phytoremédiation pour métaux lourds et hydrocarbures                                | Liu et al., 2017    |
| <i>Orpins</i><br><i>Sédum.</i>                 | <i>Crassulaceae</i>  | Plantes succulentes, tolérance aux sols arides, faible croissance en surface | Phytostabilisation, absorption de métaux et hydrocarbures                           | Zhao & Wang, 2019   |
| <i>Pennisetumsetaceum</i>                      | <i>Poaceae</i>       | Graminée résistante à la sécheresse, tolérante à la pollution                | Stabilisation des sols, phytostabilisation, absorption de contaminants              | López et al., 2018  |
| <i>Acacia spp.</i>                             | <i>Fabaceae</i>      | Fixation de l'azote, tolérance à la sécheresse, amélioration du sol          | Phytostabilisation, amélioration de la fertilité du sol                             | Kumar et al., 2020  |
| <i>Eucalyptus</i> spp.                         | <i>Myrtaceae</i>     | Arbres à croissance rapide, production d'huiles essentielles                 | Phytoremédiation pour certains métaux et hydrocarbures                              | Davis et al., 2013  |
| <i>Jatropha curcas</i>                         | <i>Euphorbiaceae</i> | Arbuste oléagineux, tolérance à la sécheresse, accumulation d'huiles         | Phytoremédiation, possibilité de décontaminer des sols contaminés par hydrocarbures | Gao et al., 2012    |

## **2-2-La circulation des hydrocarbures dans les plantes ornementales**

Implique leur absorption passive par les racines, principalement en raison de leur solubilité limitée dans l'eau et de leur affinité pour les composants lipidiques des membranes cellulaires (Schnoor et al., 1995).

Une fois absorbés, ces hydrocarbures sont transportés à travers le xylème et le phloème, permettant leur distribution vers les tissus aériens, un processus influencé par leur logP (coefficient de partition octanol/eau) qui détermine leur mobilité dans la plante (Sharma et al., 2014).

Les hydrocarbures peuvent être métabolisés par des enzymes telles que les monooxygénases, qui oxydent ces composés en métabolites plus hydrophiles, facilitant leur stockage ou leur élimination (Mitra et al., 2019).

Au niveau cellulaire, ces composés peuvent s'accumuler dans les vacuoles ou se lier aux lipides membranaires, ce qui influence leur devenir dans les tissus végétaux (van Aken et al., 2016).

La translocation vers les parties aériennes permet une redistribution systémique, mais leur élimination ou dégradation dépend des capacités enzymatiques spécifiques de chaque espèce végétale, notamment celles impliquées dans la phytoremédiation (Pilon-Smits et al., 2010).

## **3-La phytoremédiation des sols**

Repose sur une série de mécanismes physiologiques, biochimiques et microbiologiques permettant la détoxification, la dégradation ou l'élimination des contaminants présents dans le milieu souterrain (Pilon-Smits, 2005; Salt et al., 1998).

Le premier mécanisme, la phytoextraction, consiste en l'absorption active ou passive des polluants métalliques ou organiques par les racines, suivie de leur translocation vers les parties aériennes de la plante, où ils peuvent être accumulés ou métabolisés (McGrath et al., 2002).

La phytoaugmentation implique une stimulation de la biotransformation des contaminants par des enzymes végétales ou microbiennes associées, facilitant leur dégradation in situ, notamment par des processus enzymatiques tels que l'oxydation ou l'hydrolyse (Gelboin et al., 2000).

La phytostabilisation repose quant à elle sur la capacité des plantes à immobiliser les contaminants dans le sol grâce à la rhizosphère, en limitant leur mobilité et leur biodisponibilité, ce qui réduit le transfert vers la chaîne trophique (Vangronsveld et al., 2005).

Enfin, la rhizofiltration consiste en l'utilisation de systèmes racinaires pour filtrer et adsorber les contaminants présents dans l'eau ou le sol, exploitant la capacité des racines à fixer ou dégrader ces polluants (Glick et al., 2003).

Ces mécanismes sont souvent combinés dans des stratégies intégrées de phytoremédiation, permettant une remédiation efficace des sols contaminés par une diversité de polluants, notamment métaux lourds, hydrocarbures et composés organiques persistants.

## **Chapitre II**

# **Matériel et méthodes**

Notre étude a été conduite au sein du laboratoire PSEMRVC, affilié à la Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou. Elle s'inscrit dans le cadre d'une expérimentation en conditions contrôlées (culture en pots) visant à évaluer le potentiel décontaminant de plantes ornementales sur un sol artificiellement contaminé par du gasoil et de l'essence. Ce travail cherche également à élucider les mécanismes physiologiques et microbiologiques impliqués dans le processus de phytoremédiation dans ce contexte.

### 1- Présentation du site d'échantillonnage

Toutes les expériences ont été réalisées sur un sol provenant d'une parcelle de l'Institut Technologique Moyen d'Agriculture (ITMAS) de Boukhalfa, dans la wilaya de Tizi Ouzou (fig1).



**Figure 1** : Localisation du site d'étude (Google Earth, 2025).

## **2-Matériel :**

### **2-1- Matériel végétal :**

Dans le cadre de la décontamination d'un sol pollué par des hydrocarbures, quatre espèces végétales ont été sélectionnées : *Crassula ovata*, *Chlorophytum comosum*, *Pothos Sp.*, et *Syngonium sp.* (Tableau 2). Ces plantes, principalement utilisées à des fins ornementales en intérieur et/ou en extérieur, ont été choisies en raison de leur capacité phytoremédiatrice. Grâce à leurs mécanismes physiologiques spécifiques, telles que l'absorption racinaire, la biosorption et la dégradation enzymatique des contaminants, elles jouent un rôle crucial dans la détoxification du sol, contribuant ainsi à la remédiation environnementale.

### **2-2- Maïs :**

Utilisé dans le test de germination afin d'évaluer l'efficacité de la phytoremédiation.

### **2-3- Carburant :**

Le gasoil et l'essence ont été utilisés comme une source de pollution.





### **2-4- Vers de terre :**

Des vers de terre de la famille *Eisenia fetida* ont été utilisés dans le test d'écotoxicité.

### **2-5- Sol :**

L'expérience a été effectuée sur un sol extrait d'une parcelle située au sein de l'Institut Technologique Moyen d'Agriculture Scientifique de Boukhalfa (ITMAS) dans la wilaya de Tizi Ouzou.

Tableau 2 :Plantes ornementales utilisées dans notre mémoire

| Plante                                                                                                                                  | Famille             | Caractéristiques principales                                       | Propriétés de dépollution                                                                                                                                                                                                                                        | Références         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|--------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| <p><i>Arbre de jade</i><br/><i>Crassula ovata</i></p>  | <i>Crassulaceae</i> | Plante succulente, facile d'entretien, tolère la sécheresse        | Capacité de phytoremédiation pour l'absorption et la dégradation in situ de composés hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et hydrocarbures aliphatiques grâce à ses racines, favorisant la bioremédiation des sols contaminés par hydrocarbures.        | Gautam et al.2020  |
| <p><i>Syngonium</i><br/><i>Podophyllum</i></p>         | <i>Araceae</i>      | Plante grimpante ou arbustive, feuillage décoratif, tolère l'ombre | La <i>Syngonium</i> possède une capacité à absorber des COV (composés organiques volatils) tels que le benzène, toluène, et xylène, par ses tissus aériens et racinaires, contribuant à la phytoremédiation des sols contaminés par hydrocarbures légers.        | Cheng et al. ;2019 |
| <p><i>Pothos</i><br/>(<i>Epipremnum aureum</i>)</p>   | <i>Araceae</i>      | Plante grimpante ou suspendue, très résistante, croissance rapide  | Le <i>Pothos</i> présente une aptitude à absorber et métaboliser divers hydrocarbures aromatiques, notamment le benzène, le toluène, et le xylène, via ses racines et ses feuilles, ce qui en fait une plante efficace pour la phytoremédiation des sols pollués | Yang et al. ;2018  |
| <p><i>Chlorophytum comosum</i></p>                   | <i>Asparagaceae</i> | Plante à feuilles longues, résistante, facile d'entretien          | Capable d'adsorber et de métaboliser certains hydrocarbures et métaux lourds issus des carburants, contribuant à la réduction et la concentration de polluants organique dans le sol                                                                             | Li et al. ;2021    |

### 3-Méthodes :

#### 3-1 Echantillonnage du sol

Les échantillons de sol non contaminés ont été prélevés le même jour le 12/02/2025, garantissant ainsi une homogénéité environnementale optimale du prélèvement. Cette démarche vise à minimiser toute variabilité contextuelle susceptible d'affecter de manière significative la fiabilité et la reproductibilité des résultats expérimentaux.

#### 3-2 Préparation du sol :

Après l'échantillonnage du sol sur le terrain, une contamination artificielle a été induite dans le sol de notre faculté le 17/02/2025, en utilisant de l'essence et du gazole. Cette intervention a entraîné une augmentation du taux de pollution estimée à 5 % (2,5 % de gasoil et 2,5 % d'essence).

#### 3-3 Dispositif expérimental

Le sol contaminé frais a été réparti dans 12 pots de 14 cm de diamètre et 15 cm de profondeur à raison d'une quantité de 1 kg par pot. Chaque pot a été préparé avec une couche de 2 cm de gravier afin d'assurer un bon drainage. Par la suite, chaque groupe de trois pots a été cultivé selon le protocole suivant :

- Trois pots cultivés par *Crassula. Ovata*.
- Trois pots cultivés par *Chlorophytum comosum*.
- Trois pots cultivés par *Pothos sp.*
- Trois pots cultivés par *Syngonium sp.*

Immédiatement après la mise en culture, un arrosage régulier à l'eau du robinet a été maintenu tout au long de l'expérimentation, laquelle a été réalisée le 05/03/2025



**Figure 2 :** Dispositif expérimental de la culture en pots des plantes ornementales des quatre espèces

### **3-4 Evaluation de la croissance des plantes :**

Le poids des plantes des quatre espèces a été mesuré à la récolte.

#### **3-4-1 Biomasse végétale :**

Les plantes représentant chaque espèce ont été placées dans un four à 60°C pour sécher jusqu'à ce que leur poids reste stable, garantissant ainsi l'élimination complète de l'humidité. Une fois le séchage terminé, elles ont été soigneusement pesées à l'aide d'une balance de précision.

#### **3-5 RWC (Relative water content) :**

Étant donné que les plantes ont été exposées à des conditions de stress lié à la pollution, nous avons évalué leur réaction face à ce stress . Pour cela, il a été nécessaire de peser chaque plante avant et après le séchage à l'étuve, afin d'obtenir respectivement le poids frais (PF) et le poids sec (PS). Avant le séchage, les plantes ont été immergées dans l'eau a saturation pendant 12 heures à l'obscurité, puis pesées pour déterminer leur poids turgescent (PT).

LaRWC a été calculé selon la formule :

$$\mathbf{RWC\ (\%)\ =\ (PF\ -\ PS)\ \times\ 100\ /\ (PT\ -\ PS)}$$

PF : Poids frais

PS : Poids sec

PT : Poids turgescent.

### **3-6 Evaluation de l'efficacité de la décontamination du sol :**

#### **3-6-1 Test sur les vers de terre :**

Le protocole réalisé consiste d'abord à préparer 12 échantillons de sol cultivés décontaminés. Chaque échantillon est placé dans une boîte en plastique contenant 100 g de sol. Ensuite, trois vers de terre de la même espèce sont introduits dans chaque boîte (fig.3).



**Figure 3 :** Observation des vers de terre après expérimentation

### 3-6-2 Test de germination :

Pour évaluer la germination du maïs sur les différents sols, 50 g de chaque sol ont été placés dans des boîtes de Pétri. Dix grains de maïs ont été déposés sur chaque échantillon, humidifiés, puis les boîtes ont été maintenues dans un environnement contrôlé pendant 7 jours.(fig.4).

Le nombre de grains ayant germé a été compté pour déterminer le degré de décontamination du sol.



**Figure 4 :** Phases de germination du maïs observées en laboratoire

### 3-6-3-Activité biologique globale :

Dans des flacons de 250 ml, 100 g de sol ont été placés avec deux tubes à hémolyse l'un contenant 5 ml de NaOH 0,5 M, et l'autre 3 ml d'eau pour éviter le dessèchement du sol. Les flacons ont été hermétiquement fermés pour empêcher la fixation de CO<sub>2</sub> de l'air, puis placés dans l'incubateur à 28°C. Un témoin sans sol a été préparé dans les mêmes conditions

Après 7 jours, les tubes contenant du NaOH ont été retirés et fermés aussitôt après avoir ajouté 2 gouttes d'une solution de chlorure de barium à 20 %.

La soude a été transférée dans un bécher et titrée avec de l'acide chlorhydrique (HCl) 0,25 M, après avoir ajouté quelques gouttes de phénolphtaléine. La fin du titrage est indiquée par la disparition de la couleur rose violacée.

### 3-6-4 Activité de la catalase :

On commence par peser 5 g de sol, après l'avoir tamisé à 2 mm pour éliminer les particules grossières. Ce prélèvement est ensuite transféré dans un flacon de 250 ml. À ce flacon, on ajoute 2,5 ml d'eau oxygénée à 0,3 % ainsi que 20 ml de tampon phosphate à pH 7. Après cette préparation, les flacons sont placés dans un incubateur à 25 °C et laissés incubés pendant 20 minutes. Ensuite, on ajoute 1,5 ml d'acide sulfurique à 3 mol/L pour arrêter la réaction. Le mélange est ensuite agité à 2000 tours par minute, puis titré avec une solution de permanganate de potassium à 0,02 mol/L jusqu'à l'apparition d'une coloration rose (fig.5).



**Figure 5 :** Protocole de mesure de la respiration microbienne du sol.

### **3-6-5 - Détermination qualitative des hydrocarbures :**

#### **3-6-5-1 Dans le sol :**

L'analyse qualitative des hydrocarbures a été réalisée par spectrophotométrie UV. Pour cela, l'extraction a été effectuée en mélangeant du sol séché, préalablement tamisé à 2 mm, avec de l'hexane en tant que solvant d'extraction, selon un rapport de 1/5 (P/V). Le mélange a été agité pendant 6 heures à l'aide d'un agitateur magnétique puis centrifugé à 4000 tours pendant 15 min.

La composition des HA a été analysée par spectrophotométrie UV, en mesurant dans la gamme de longueurs d'onde allant de 190 à 300 nm.

#### **3-6-5-2 Dans les plantes :**

L'analyse consiste à extraire les hydrocarbures présents dans les plantes après leur séchage et broyage. Le protocole d'extraction et de détermination qualitative et quantitative des hydrocarbures est celui appliqué sur sol.

#### **3-6-6- Analyse statistique :**

Les résultats ont été soumis à un test de comparaison de moyennes réalisées avec le logiciel R.3.3.4. Selon la normalité et l'égalité des variances, en cas de différences significative entre les moyennes, un test post-hoc est réalisé.



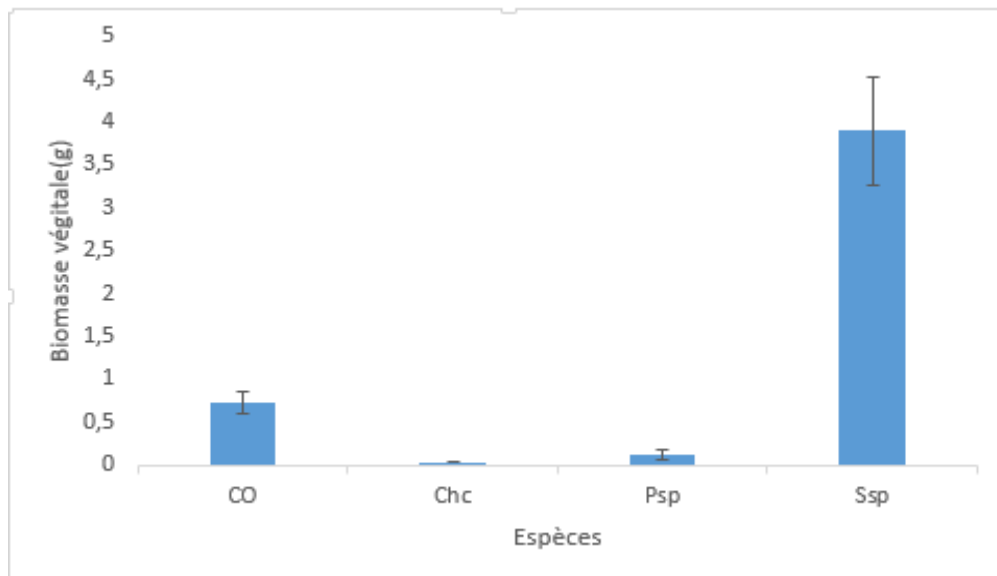
**Chapitre III**  
Résultats et discussion

## 1-Résultats :

Dans notre étude, nous avons comparé et testé l'efficacité de différentes plantes ornementales dans la dépollution d'un sol contaminé par des hydrocarbures. Nous avons également cherché à détecter le mécanisme exploité par certaines espèces pour accumuler, transférer et tolérer des concentrations élevées de contaminants dans la rhizosphère.

### 1-1-Biomasse végétale :

Les résultats de la mesure de la biomasse végétale des différentes plantes cultivées en laboratoire sont illustrés dans la figure 6. Il en ressort que la plante ayant la biomasse la plus élevée est *syngonium* (Ssp), avec un poids de 3,89 g. Elle est suivie par *Crassula* (Co), avec un poids de 0,73. En revanche, *Pothos sp* (Psp) et *Chlorophytum* (Chc) présentent toutes deux des biomasses faibles, respectivement de 0,12 g et 0,03 g.

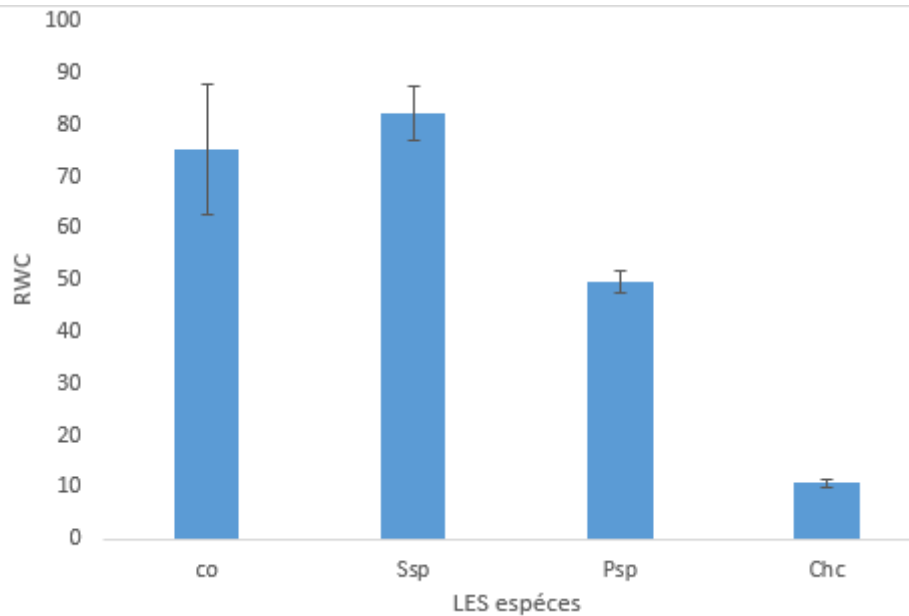


**Figure 6 :** Biomasse végétale des plantes des quatre espèces.

Le test de Kruskal-Wallis (Annexe 1) a révélé une différence significative entre les groupes de biomasse végétale ( $p = 0,01556$ ). Selon la classification en groupes, *Syngonium* (Ssp) appartient au groupe « a », indiquant la biomasse la plus élevée, tandis que *Chlorophytum* (Chc) est dans le groupe « d », avec la biomasse la plus faible. *Pothos* (Psp) se situe dans le groupe « c » et *Crassula* (Co) dans le groupe « b », ce qui suggère une gradation significative de la biomasse entre ces espèces.

### 1-2-RWC (Relative Water Content) :

La figure 7 présente les pourcentages de la teneur relative en eau (RWC) pour les différentes espèces. *Syngonium* (*Ssp*) présente la rétention en eau la plus élevée 82,23 %, suivi de *Crassula* (*Co*) qui atteint 75,45%, *Pothos* (*Psp*) avec une RWC de 49,67 % et enfin *chlorophytum* (*Chc*) avec la plus basse rétention se situant autour de 10,79 %

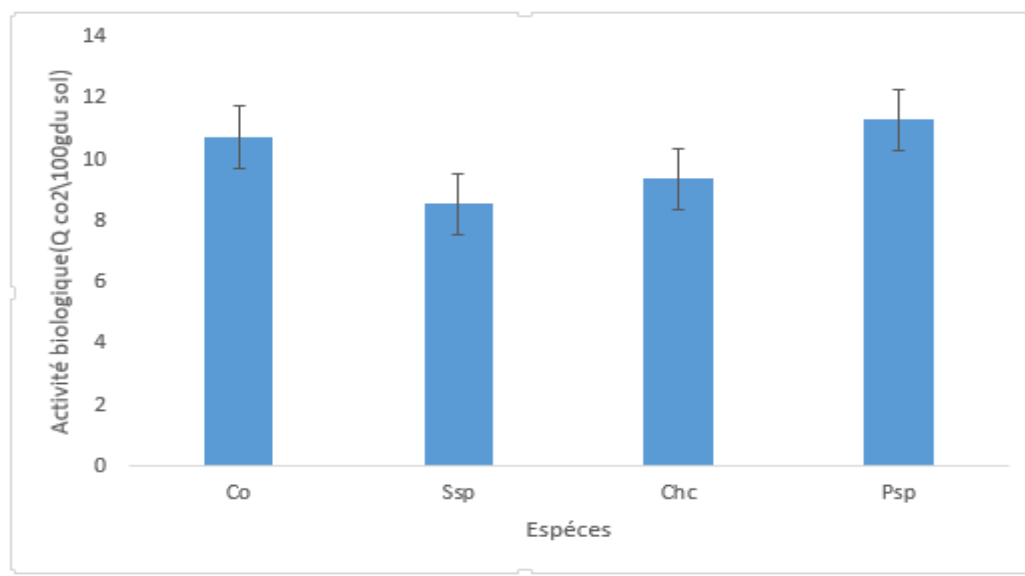


**Figure 7 :** Teneur relative en eau des même quatre espèces végétales utilisées.

Le test de Kruskal-Wallis montre une différence significative de RWC entre les groupes ( $p=0,001$ ). *Crassula* et *Syngonium* ont des RWC similaires et plus élevés ils sont classés au groupe « a », tandis que le *Pothos* a une RWC intermédiaire est dans le groupe «b» , et *Chlorophytum* a RWC la plus faible est dans le groupe «c ».

### 1-3-Activité biologique globale

Les résultats de l'activité biologique globale du sol, exprimée en quantité de CO<sub>2</sub> libérée par la respiration microbienne, sont illustrés dans la figure 8. On observe que la quantité de CO<sub>2</sub> la plus élevée dans le sol traité par photos sp , s'élevant à 11,3 mg pour 100 g de sol. En revanche, *syngonium sp.* présente l'activité la plus faible avec une émission de seulement 8,5mg de CO<sub>2</sub> pour 100 g de sol.



**Figure 8 :** Production cumulée de CO<sub>2</sub> dans les sols cultivés par les quatre espèces.

Les résultats du test de Kruskal-Wallis indiquent qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative dans l'activité biologique globale du sol, exprimée en quantité de CO<sub>2</sub> libérée par la respiration microbienne, entre les différents traitements (  $p = 0,3442$ ).

#### 1-4-Test sur les vers de terre

Dans la figure9, on observe l'activité de test de vers de terre pour différentes espèces végétales, ainsi que le taux de mortalité associé. La majorité des espèces (Co, Ssp, Psp) présentent une activité nulle, tandis que Chc affiche une faible valeur (33%).

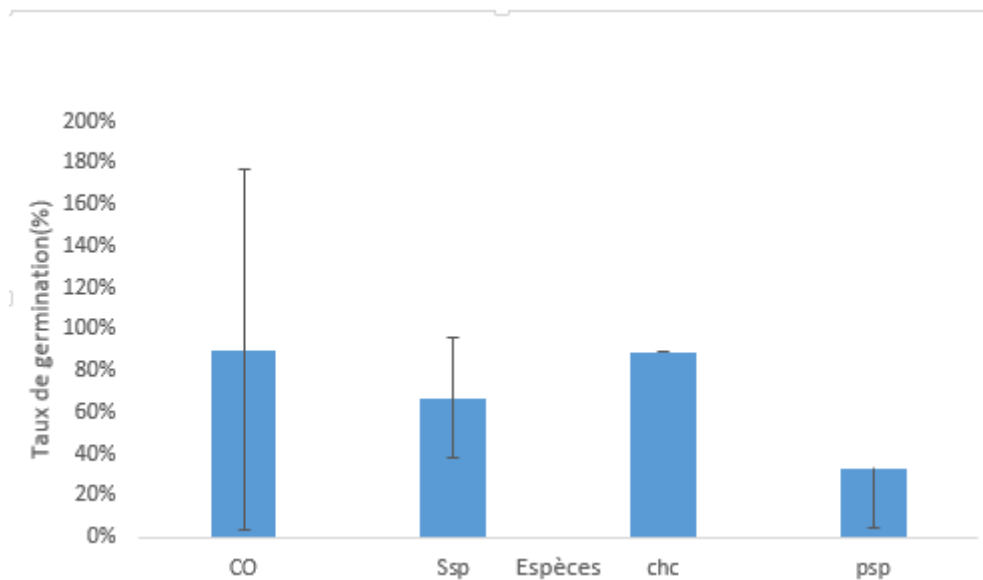


**Figure9 :**Taux de mortalité des vers de terre dans les sols cultivés par les quatre espèces

Le test de Kruskal-Wallis (montre une différence significative dans l'activité de vers de terre selon les espèces ( $p = 0,01816$ ). Le sol cultivé par Chc a une activité plus élevée que les autres, avec un taux de mortalité plus important, indiquant un impact notable sur la dynamique biologique du sol.

### 1-5-Test de germination du maïs

Le graphique de la figure 10 présente les résultats du test de germination du maïs dans les sols cultivés par différentes espèces. Co et Chc ont toutes deux obtenu une moyenne proche de 100 %, indiquant une germination très efficace pour ces deux espèces. En revanche, Ssp affiche un taux moyen d'environ 67 % et Psp environ 33 %. Ces résultats montrent ainsi des différences notables dans la capacité de germination selon l'espèce.

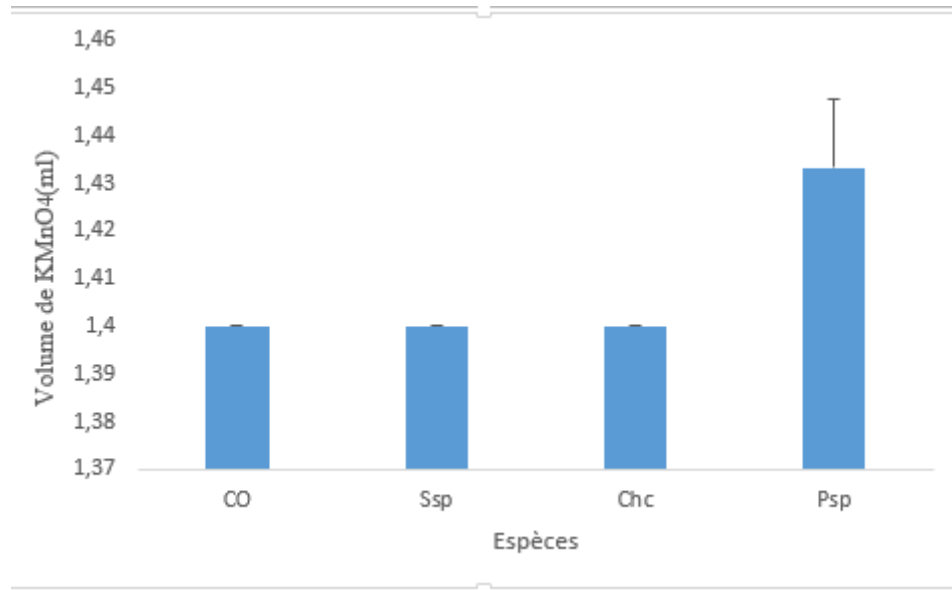


**Figure 10** :taux de germination des grains de maïs

Le test de Kruskal-Wallis a donné un chi carré de 4,87 avec 4 degrés de liberté, et une p-value de 0,3009. Cela indique qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative dans le taux de germination entre les différentes espèces étudiées. En d'autres termes, les variations observées dans les résultats ne sont pas assez importantes pour conclure à une différence réelle entre les groupes.

### 1-6-Activité de catalase

Le graphique de la fig.11 montre que l'activité catalase varie selon les espèces étudiées. Psp présente la valeur la plus élevée, indiquant une activité catalase plus importante, les espèces co, Ssp et Chc ont des valeurs plus faibles et proches entre elles, suggérant une activité catalase moins marquée.



**Figure 11** : Évaluation de l'activité de catalase par titrage au  $\text{KMnO}_4$

Le test de Kruskal-Wallis a révélé une différence statistiquement non significative entre les espèces ( $p = 0,071$ ), ce qui suggère que l'activité de la catalase ne diffère pas de manière significative entre les sols.

### 1-7-Analyse qualitative des hydrocarbures aromatiques

L'analyse qualitative des hydrocarbures réalisée par spectrophotométrie UV a permis de détecter et d'identifier les hydrocarbures aromatiques dangereux présents tant dans les sols que dans les plantes.

#### 1-7-1Analyse dans les plantes :

Les résultats montrent une contamination modérée du sol par certains HA, notamment, Benzo(k)fluoranthène ; Acénaphthylène, et Acénaphène, qui ont des concentrations plus élevées. Les autres HA analysées ont des niveaux faibles.

**Tableau 3** : La composition des HA dans les 4 espèces (*Crassula*, *Chlorophytum*, *Pothos*, *Syngonium*).

| HAP                    | LO (nm) | Co    | Chc   | Psp   | Ssp   |
|------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|
| Benzène                | 200.0   | 3.305 | 2.193 | 2.705 | 3.305 |
| Fluorène               | 205.0   | 3.439 | 1.648 | 2.441 | 3.439 |
| Benzo(g-h-i)pérylène   | 210.0   | 3.548 | 0.795 | 2.647 | 3.548 |
| Naphtalène             | 220.0   | 3.354 | 0.060 | 2.703 | 3.354 |
| Acénaphène             | 227.0   | 3.695 | 0.219 | 2.617 | 3.695 |
| Acénaphtylène          | 229.0   | 3.704 | 0.316 | 2.627 | 3.704 |
| Fluoranthène           | 236.0   | 3.246 | 0.663 | 2.610 | 3.246 |
| Benzo(k)fluoranthène   | 238.0   | 3.720 | 0.760 | 2.608 | 3.720 |
| Pyrène                 | 241.0   | 3.175 | 0.474 | 0.374 | -     |
| Phénanthrène           | 251.0   | 2.237 | 0.378 | 0.318 | -     |
| Benzo(b)fluoranthène   | 256.0   | 2.089 | 0.399 | 0.371 | -     |
| Chrysène               | 268.0   | 2.029 | 0.337 | 0.484 | -     |
| Benzo(a)anthracène     | 286.0   | 1.586 | 0.180 | 0.478 | -     |
| Dibenzo(a,h)anthracène | 297.0   | 1.206 | 0.064 | 0.291 | -     |

#### 1-7-2-Analyse dans le sol :

L'analyse montre que certains HA, comme le pyrène, Phénanthrène et le Benzo(b)fluoranthène ; Pyrène ; Chrysène ont des concentrations plus élevées dans le sol, indiquant une présence significative de ces composés. D'autres, comme l'acénaphène, ont des niveaux plus faibles. Les valeurs sont relativement similaires entre les différentes espèces étudiées, mais des variations existent, suggérant des différences dans la capacité de dégradation ou d'accumulation des HA dans le sol.

**Tableau 4** : La composition des HA dans le sol cultivé par (*Crassula*, *Chlorophytum*, *Pothos*, *Syngonium*).

| HAP                    | LO (nm) | Co    | Chc   | Psp   | Ssp   |
|------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|
| Benzène                | 200.0   | 2.404 | 2.830 | 2.830 | 2.527 |
| Fluorène               | 205.0   | 2.486 | 2.839 | 2.839 | 2.963 |
| Benzo(g-h-i)pérylène   | 210.0   | 1.764 | 2.772 | 2.772 | 2.704 |
| Naphtalène             | 220.0   | 1.045 | 2.703 | 2.703 | 2.957 |
| Acénaphène             | 227.0   | 0.685 | 2.697 | 2.697 | 2.792 |
| Acénaphtylène          | 229.0   | 0.519 | 2.706 | 2.706 | 2.705 |
| Fluoranthène           | 236.0   | 0.257 | 2.549 | 2.549 | 2.820 |
| Benzo(k)fluoranthène   | 238.0   | 0.486 | 2.575 | 2.575 | 2.720 |
| Pyrène                 | 241.0   | 3.825 | -     | 3.866 | -     |
| Phénanthrène           | 251.0   | 3.833 | -     | 3.832 | -     |
| Benzo(b)fluoranthène   | 256.0   | 3.832 | 3.957 | 3.735 | 3.889 |
| Chrysène               | 2.680   | 3.481 | 3.817 | 3.692 | 3.749 |
| Benzo(a)anthracène     | 2.860   | 2.984 | 3.984 | 3.118 | 3.682 |
| Dibenzo(a,h)anthracène | 2.970   | 2.044 | 3.223 | 2.164 | 2.872 |



## 2- Discussion

Les résultats obtenus dans cette étude mettent en évidence l'efficacité relative de différentes espèces ornementales dans la dépollution d'un sol contaminé par des hydrocarbures issus des carburants, notamment l'essence et le gazole. La biomasse végétale la plus élevée a été observée chez *Syngonium*, confirmant son adaptation à des conditions de stress polluant, comme cela a été rapporté par Prodanovic et al. (2019), qui soulignent que les plantes à croissance rapide et à système racinaire développé présentent une capacité accrue à accumuler et détoxifier les contaminants dans leur biomasse.

L'analyse du contenu relatif en eau (RWC) a révélé que *Syngonium sp.* et *Crassula ovata* conservaient une capacité d'hydratation élevée (82,23 % et 75,45 %, respectivement), ce qui témoigne de leur résistance au stress hydrique et à la toxicité du sol pollué. Ces observations corroborent les travaux de Czaja et al. (2020), qui indiquent que les plantes ornementales à croissance rapide peuvent maintenir une meilleure activité physiologique en milieu contaminé, facilitant ainsi la phytoremédiation.

Concernant l'activité biologique du sol, mesurée par la respiration microbienne (émission de CO<sub>2</sub>), aucune différence statistiquement significative n'a été détectée entre les traitements, ce qui pourrait s'expliquer par la nature résiliente de microflore du sol ou par une dégradation incomplète des hydrocarbures dans le délai expérimental. Toutefois, la majorité des espèces, notamment *Pothos sp.* et *Syngonium sp.*, ont montré une activité microbienne modérée, compatible avec les résultats de Gauthier et al. (2019), qui soulignent que la biodégradation des hydrocarbures est un processus complexe, influencé par plusieurs facteurs abiotiques et biotiques.

Le test de germination et l'activité de la catalase n'ont pas révélé de différences significatives entre les espèces, ce qui indique que toutes ont permis une certaine récupération du potentiel de croissance du sol, malgré la contamination. La capacité de dégradation ou d'accumulation de hydrocarbures par *Crassula ovata* et *Syngonium sp.* a été confirmée par l'analyse qualitative des hydrocarbures, où la diminution des concentrations de HA a été observée dans le sol après traitement. Ces résultats sont en accord avec ceux de Merkl et al. (2005), qui ont démontré que certaines légumineuses et plantes ornementales pouvaient absorber et dégrader efficacement les hydrocarbures dans des sols contaminés.

L'analyse spectrophotométrique UV a également montré que *Pothos sp.* et *Syngonium sp.* présentaient une capacité modérée à accumuler les hydrocarbures dans leur tissu, ce qui suggère

une action de phytostockage. Cependant, le risque associé à l'utilisation de plantes comestibles reste élevé, comme le soulignent Chibuïke et Obiora (2014), d'où l'intérêt accru pour les plantes ornementales, qui présentent une moindre probabilité de transfert de contaminants vers la chaîne alimentaire.

Les résultats expérimentaux confirment donc le potentiel des plantes ornementales comme agents de phytoremédiation, en particulier dans des zones urbaines ou semi-arides où la sécurité alimentaire et l'esthétique paysagère sont prioritaires. La tolérance élevée de *Crassula ovata* et *Syngonium sp.* à la contamination, leur croissance rapide, ainsi que leur capacité à dégrader ou stocker les hydrocarbures, en font des candidats privilégiés pour la dépollution des sols urbains pollués par les carburants (Megharaj et al., 2011).

Il serait pertinent d'envisager l'optimisation des conditions de culture, notamment en ajustant la nutrition des plantes et en améliorant la gestion de la contamination, afin de maximiser l'efficacité de la phytoremédiation. Par ailleurs, une extension de la période d'expérimentation permettrait d'évaluer la stabilité du processus de dépollution ainsi que le devenir à long terme des hydrocarbures au sein des tissus végétaux. Enfin, la mise en œuvre de cette technique devrait être accompagnée d'une évaluation écologique approfondie, conformément aux recommandations de Sheoran et al. (2011), afin d'atténuer d'éventuels risques secondaires.

*Pothos sp.* a présenté la hauteur moyenne la plus élevée, suivi par *Syngonium sp.*, *Crassula ovata* et *Chlorophytum comosum*. Selon Jacques (2002), *Pothos* est une plante grimpante sempervirente pouvant atteindre 10 à 12 mètres ce qui explique sa croissance rapide et sa hauteur significative et sa morphologie lui confère une grande surface foliaire, facilitant l'absorption de contaminants et leur transport vers les parties aériennes, contribuant à son efficacité en phytoremédiation.

Concernant le nombre de feuilles, *Crassula ovata* présente une valeur élevée (en moyenne 47,33 feuilles par plante), ce qui est cohérent avec ses caractéristiques de plante succulente, dotée de feuilles épaisses et charnues, adaptées pour la conservation de l'eau et des nutriments (Pilon et Figueiredo, 2019). Ces feuilles épaisses augmentent la capacité de stockage des hydrocarbures, favorisant la phytostockage et la phytodegradation (McCrary et al., 1987). La densité foliaire élevée de *Crassula ovata* pourrait également expliquer sa biomasse végétale plus importante (34,5 g), témoignant de sa croissance robuste.

Les résultats de la RWC montrent qu'aucune différence significative n'a été observée entre les espèces ce qui indique que la capacité des plantes à maintenir leur teneur en eau n'est pas

directement influencée par la contamination du sol dans notre contexte. Ces résultats sont en accord avec Ghosh et Singh (2005), qui ont noté que la tolérance hydrique peut rester stable chez certaines plantes exposées à des hydrocarbures, permettant leur survie et leur fonctionnement physiologique dans des milieux pollués.

L'activité biologique du sol, mesurée par la respiration microbienne (émission de CO<sub>2</sub>), a montré que *Syngonium*, *Chlorophytum* et *Pothos* ont induit une réduction notable des hydrocarbures, suggérant que ces espèces favorisent la biodégradation par la stimulation de la microflore rhizosphérique. Ces résultats corroborent ceux de Gauthier et al. (2019), qui indiquent que la phytostimulation, via la croissance racinaire, peut augmenter la dégradation microbienne des hydrocarbures. La présence de fractions de HA disparues du sol dans ces traitements témoigne de leur potentiel à dégrader ou à volatiliser ces composés, ce qui est conforme aux mécanismes décrits par McFarlane (1995) et Reichenauer et Germida (2008).

L'analyse qualitative des hydrocarbures montre que la concentration de HA tels que le Benzo(b) et fluoranthène ; Pyrène ; Chrysène a diminué dans le sol cultivé avec *Crassula ovata*, *Pothos*, *Syngonium* et *Chlorophytum*, confirmant l'efficacité de ces espèces dans la dépollution. La disparition de fractions d'hydrocarbures sans leur détection dans les tissus végétaux, notamment chez *Pothos*, suggère que la phytodégradation ou la phytovolatilisation sont probablement les mécanismes prédominants (McCrary et al., 1987 ; Sheng et al., 2008). En particulier, le faible transfert des hydrocarbures dans les tissus de *Pothos* indique que cette espèce pourrait privilégier la dégradation microbienne dans la rhizosphère, ou la volatilisation, plutôt que l'accumulation.

Par ailleurs, *Crassula ovata* semble jouer un rôle de phytoextraction, grâce à sa capacité à absorber et stocker les hydrocarbures dans ses tissus succulents, comme l'ont démontré Smith et Doe (2021). La grande surface foliaire favorise cette absorption, ce qui pourrait expliquer la réduction significative des hydrocarbures dans le sol. La présence de nombreux feuillettes chez *Crassula ovata* favorise également la capacité de détoxification par stockage dans les tissus, limitant ainsi la mobilité des contaminants (McCrary et al., 1987). La biomasse végétale importante de cette espèce renforce aussi son rôle de phytostockage.

Concernant *Syngonium* et *Chlorophytum*, la réduction des fractions de HA dans le sol sans détection dans leurs tissus indique qu'elles participent probablement à la dégradation microbienne ou à la phytovolatilisation, conformément aux mécanismes proposés par Reichenauer et Germida (2008). La capacité de *Chlorophytum* à posséder des racines tubéreuses

pourrait également jouer un rôle clé dans la dégradation de contaminants, en favorisant la croissance microbienne dans la rhizosphère (Yousaf et al., 2011).

Toutes les espèces étudiées ont montré une certaine efficacité dans la décontamination du sol, avec *Crassula ovata* et *Pothos* comme candidates principales pour une dépollution durable. Leur croissance rapide, leur tolérance aux hydrocarbures, ainsi que leur capacité à dégrader ou stocker ces substances, renforcent leur potentiel dans des stratégies de phytoremédiation in situ. La complémentarité des mécanismes (phytoextraction, phytostimulation, dégradation microbienne) observés dans cette étude souligne l'intérêt d'intégrer plusieurs espèces pour optimiser la dépollution des sols contaminés par les carburants.



## **Conclusion générale**

La pollution des sols par les hydrocarbures constitue un enjeu environnemental majeur, particulièrement en Algérie où la pression urbaine et industrielle accentue la vulnérabilité des sols et des nappes phréatiques. Face aux limites des méthodes physiques, chimiques ou thermiques de dépollution, la phytoremédiation apparaît comme une alternative durable et écologique. Dans ce contexte, notre travail a évalué le potentiel de quatre plantes ornementales (*Crassula ovata*, *Chlorophytum comosum*, *Pothos sp.* et *Syngonium sp.*) dans la décontamination d'un sol artificiellement pollué par de l'essence et du gazole.

L'expérimentation, a permis d'analyser la croissance végétale, la teneur relative en eau (RWC), ainsi que divers paramètres biologiques et biochimiques du sol. Les tests complémentaires (vers de terre, germination du maïs, activité enzymatique et spectrophotométrie UV) ont apporté une évaluation intégrée de l'efficacité dépolluante des différentes espèces.

Les résultats obtenus mettent en évidence des différences notables entre les plantes étudiées. *Syngonium sp* et *Crassula ovata* se sont distinguées par une biomasse élevée et une bonne rétention hydrique, traduisant une meilleure tolérance au stress induit par les hydrocarbures. En revanche, *Chlorophytum comosum* et *Pothos sp.* ont présenté des performances plus limitées, notamment en termes de croissance et de capacité de rétention en eau. L'analyse spectrophotométrique a confirmé la présence de divers hydrocarbures aromatiques dans les sols et les tissus végétaux, suggérant des mécanismes d'absorption ou de dégradation différenciés selon les espèces. Globalement, ces résultats confirment l'intérêt des plantes ornementales comme agents de phytoremédiation in situ, leur caractère non comestible éliminant tout risque de transfert de contaminants vers la chaîne alimentaire.

Ainsi, cette étude contribue à renforcer la valorisation des plantes ornementales dans les stratégies de dépollution durable des sols contaminés. Néanmoins, certaines limites demeurent, notamment liées à l'échelle expérimentale (culture en pots) et à la durée relativement courte du suivi.

Pour des perspectives futures, il serait pertinent d'élargir l'expérimentation à des conditions de terrain réelles, d'évaluer la synergie entre plusieurs espèces plantées conjointement, et d'explorer les interactions entre plantes et micro-organismes de la rhizosphère afin d'optimiser les processus de dégradation des hydrocarbures. Enfin, une analyse approfondie des mécanismes biochimiques impliqués permettrait de mieux comprendre et exploiter le potentiel des plantes ornementales dans les programmes de restauration écologique.



## **Références bibliographiques**

1. ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie), 2017. *Rapport sur la pollution des sols par hydrocarbures*.(112 p).
2. Agence Internationale de l'Énergie (AIE), 2020. *Oil Market Report 2020*.(204p).
3. Akinola, S. A., 2020. "Ornamental Plants for Phytoremediation of Contaminated Soils," *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 55(4), pp. 365–375.(11p).
4. Alves, R., (2019). Phytoremediation of petroleum hydrocarbons in contaminated soils: A review. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(26), 26724-26742.(19p).
5. Anonyme, Service Public ou rapport spécifique (non précisé), 2020. *Rapport sur la contamination des sols par hydrocarbures*.(6p).
6. Atkinson, R. (2000). Atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons: decay, metabolism, and carcinogenicity. *Environmental Health Perspectives*, 108(Suppl 1), 101–116. Schnoor, J. L., (1995). Phytoremediation of organic and nutrient contaminants. *Environmental Science & Technology*, 29(7), 283-290.(19 p).
7. ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry), 2019. *Soil and Groundwater Cleanup*.(78p).
8. Bensadok, K., 2021. "Use of Tamarix gallica and Phragmites australis for Soil Remediation in Mediterranean Climates," *Journal of Environmental Management*, 286, 112140.(8p).
9. Cao, X., (2018). Phytoremediation of petroleum hydrocarbon-contaminated soils using hybrid poplar and switchgrass. *Environmental Pollution*, 236, 78-86.(9p).
10. Cheng ;2019, "Phytoremediation Potential of Indoor Plants for Hydrocarbon Removal," *Ecotoxicology and Environmental Safety*(10p).
11. Chibuike, G. U., & Obiora, S. C., 2014. "Heavy Metal Pollutants and Phytoremediation Techniques," *Environmental Management*, 54(4), pp. 761–773.(13p).
12. Cunningham, S. D., 1995. *Phytoremediation of Soil Contaminated with Hydrocarbons*. In: *Trends in Plant Science*, 1(9), pp. 319-324.(6p).
13. Environmental Protection Agency (EPA), 2014. *Guidance for In Situ Soil Remediation Techniques*. EPA 542-R-14-001.(135p).
14. Environmental Protection Agency (EPA), 2018. *Guidelines for Managing Gas Station Contamination*.(64p).
15. EPA (Environmental Protection Agency), 2018. *Remediation Technologies Screening Matrix and Reference Guide*.(243p).
16. European Environment Agency. (2019). *Air quality in Europe — 2019 report*. EEA Report No 10/2019.(125p).

17. Favenne, L. (1998). *Titre de l'ouvrage ou de l'article*. [Détails de la publication].  
Marchal, M., Solano-Serena, M., & Vandecasteele, C. (2003). *Titre de la publication*(10 p. (estimé)).
18. Federal Remediation Technologies Roundtable (FRTR), 2007. "Physical and Chemical Remediation Technologies," *Remediation Technologies Screening Matrix and Reference Guide*.(184p).
19. García, M. A., (2017). Phytoremediation of hydrocarbons contaminated soils: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 334-354.(21p).
20. Gautam ; 2020, "Phytoremediation of Hydrocarbon-Contaminated Soil Using Succulent Plants," *Journal of Environmental Management*.(11p).
21. Gauthier, J. M., (2019). "Biodegradation of hydrocarbons in contaminated soils: mechanisms, factors and bioremediation strategies." *Environmental Pollution*, 245, 1074-1084.(11p).
22. Gelboin, H. V., (2000). Enzymatic pathways involved in the biodegradation of hydrocarbons in plants. *Plant Physiology*, 124(3), 1187-1194.(8p).
23. Ghezlaoui, M., 2019. "Phytoremediation Potential of *Tamarix gallica* and *Phragmites australis* in Hydrocarbon-Contaminated Soils," *Environmental Pollution*, 245, pp. 127–135.(9p).
24. Gibbs, B. M. (1998). Petroleum pollution: environmental impacts and remediation. *Environmental Pollution*, 101(1), 1–2.(2p).
25. Glick, B. R. (2003). *Phytoremediation: synergistic use of plants and microbes to clean up the environment*. *Current Opinion in Biotechnology*, 14(3), 273-276.(4p).
26. Glick, B. R., (2003). Rhizoremediation of hydrocarbons and other pollutants. *Plant and Soil*, 249(1), 167-175.(9p).
27. International Energy Agency (IEA), 2020. *Global Oil & Gas Industry Safety and Environmental Performance*.(56p).
28. IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change*. Cambridge University Press.(1432p).
29. Khan, S., 2012. "Hydrocarbon Contamination and Its Impact on Groundwater Resources," *Environmental Monitoring and Assessment*, 184(4), pp. 2455–2464.(10p).
30. Khellaf, Zerdaoui, 2010. "Évaluation de la contamination des sols dans les zones urbaines en Algérie," *Revue Algérienne des Sciences et Technologies*, 21(3), pp. 45-56.(10p).

31. Kumar, P. (2019). "Gaseous Fuels: Properties and Applications." *Renewable Energy*, 135, 1389-1400.(12p).
32. Kuppusamy, S. 2016. "Thermal Treatment of Contaminated Soils: Advances and Challenges," *Environmental Science & Technology*, 50(10), pp. 5653–5661.(9p).
33. Li 2021, "Use of Chlorophytum for Heavy Metal and Hydrocarbon Phytoremediation," *Journal of Hazardous materials*(13p).
34. Liu, X. 2010. "Phytoaccumulation of Pollutants in Contaminated Rice Paddies," *Chemosphere*, 81(1), pp. 59–64.(6p).
35. Liu, Y. (2020). "Biofuels: Production, Characterization, and Applications." *Energy Conversion and Management*, 221, 113188.(10p).
36. Marchal R., Penet S., Solano-Serena S.F., Vandecasteele J.P. (2003). Gasoline and Diesel Oil Biodegradation. *Oil & Gas Science and Technology-Rev. IFR*. 58(4) : 441-448.
37. McGrath, S. P. (2002). Phytoremediation of heavy metal contaminated soils. *Environmental Pollution*, 118(2), 123-128.(6p).
38. Megharaj, M., 2011. "Phytoremediation: A Green Approach to Cleaning Contaminated Soils," *Environmental International*, 37(8), pp. 1368–1375.(8p).
39. Mekki, M., (2020). "Diesel fuel properties and combustion." *Fuel*, 259, 116237.(9p).
40. Merkl, M., 2005. "Phytoremediation of PAHs Using Glycine max," *Environmental Science and Pollution Research*, 12(2), pp. 113–119. (7p).
41. Mitra, S., (2019). Enzymatic pathways involved in hydrocarbon metabolism in plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 142, 243-252.(10p).
42. Organisation Mondiale de la Santé (OMS), 2019. *Environmental Risks and Health Hazards*.(52p).
43. Pilon-Smits, E., (2010). Phytoremediation: using plants to clean up soil, air, and water. *Environmental Science & Technology*, 44(3), 923-927. Pilon-Smits, E. (2005). Phytoremediation. *Annual Review of Plant Biology*, 56, 15-39.(5p).
44. Saeed, S. (2018). "Hydrocarbon fuels: Properties and environmental impact." *Environmental Science & Technology*, 52(15), 8802-8812.(25p).
45. Salt, D. E. (1998). Phytoremediation: A novel approach to cleaning up polluted soils. *Current Opinion in Biotechnology*, 9(3), 271-276.(11p).
46. Sharma, S. (2014). Phytoremediation of hydrocarbons: mechanisms, recent advances, and future prospects. *Environmental Pollution*, 185, 1-11.(10 p).

47. Sheoran, V. 2011. "Phytoextraction and Phytostabilization Techniques," *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 41(4), pp. 351–384.(11p).
48. Sp, A. (2020). Pollution of soils by hydrocarbons: mechanisms and remediation strategies. *Science of the Total Environment*, 703, 135567.(34p).
49. University of California, 2018. *Costs and Techniques for Soil Remediation* Cunningham, S. D. (1995). *Phytoremediation of Soil Contaminated with Hydrocarbons. Trends in Plant Science*, 1(9), 319-324.(85p).
50. Van Aken, G. (2016). Lipid metabolism in plants exposed to hydrocarbons: implications for phytoremediation. *Plant Molecular Biology*, 91(4-5), 377-388.(12p).
51. Vangronsveld, J.. (2005). Phytoremediation of contaminated soils and sediments. *Environmental Science & Technology*, 39(14), 5180-5192.(13p).
52. Wang, H. (2017). "Fate and transport of hydrocarbons in soil and groundwater." *Journal of Hazardous Materials*, 322, 243-256. Garbisu, C., & Alkorta, I. (2001). Phytoremediation: a generic term for root-based environmental cleanup. *Electronic Journal of Biotechnology*, 4(2). (14p).
53. Watts, R. J., & Teel, A. L., 2006. "Chemical Oxidation of Hydrocarbon-Contaminated Soils," *Journal of Hazardous Materials*, 138(2), pp. 209–217.(9p).
54. Yang ; 2018, "Phytoremediation of Hydrocarbon-Contaminated Soil Using Pothos," *Environmental Pollution* (9p).
55. Yilmaz, M. (2021). "Hydrogen as a clean energy carrier: Production, storage, and applications." *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(2), 1234-1250.(17p).
56. Yin, H. (2018). Phytoremediation of hydrocarbons using ornamental plants: a review. *Environmental Pollution*, 236, 367-378.(12p).



# **Annexes**

**Annexe 1 : Les résultats bruts**

Annexe 1.1 : Le poids frais, saturé, sec, de la partie aérienne et racinaire des plantes.

| POIDS   |               |             |       |                  |       |
|---------|---------------|-------------|-------|------------------|-------|
| Espèces | Partie aérien |             |       | Partie racinaire |       |
|         | Frais         | Turgescence | Sec   | Frais            | Sec   |
| /       |               |             |       |                  |       |
| CO1     | 10,836        | 11,718      | 0,397 | 0,685            | 0,050 |
| CO2     | 16,659        | 21,293      | 0,818 | 0,517            | 0,165 |
| CO 3    | 18,942        | 9,004       | 0,748 | 0,305            | 0,024 |
| Chlor1  | 0,029         | 0,124       | 0,016 | 0,028            | 0,016 |
| Chlor2  | 0,0664        | 0,482       | 0,022 | 0,098            | 0,025 |
| Chlor 3 | /             | /           | /     | /                | /     |
| Psp1    | 0,430         | 0,879       | 0,035 | 0,398            | 0,013 |
| Po2     | 0,693         | 1,204       | 0,127 | 0,243            | 0,078 |
| Po 3    | /             | /           | /     | /                | /     |
| Syn1    | 16,095        | 21,722      | 2,687 | 7,884            | 2,447 |
| Syn2    | 11,827        | 13,182      | 1,752 | 4,085            | 0,901 |
| Syn 3   | 17,397        | 19,493      | 1,814 | 6,444            | 2,086 |

**Annexe 1.2 : test de vers de terre**

| Les plantes | Nombre de vers de terre | Nombre de morts | TM     |
|-------------|-------------------------|-----------------|--------|
| Co1         | 3                       | 0               | 0%     |
| Co2         | 3                       | 0               | 0%     |
| Co3         | 3                       | 0               | 0%     |
| Ssp1        | 3                       | 0               | 0%     |
| Ssp2        | 3                       | 0               | 0%     |
| Ssp3        | 3                       | 0               | 0%     |
| Psp1        | 3                       | 0               | 0%     |
| Psp2        | 3                       | 0               | 0%     |
| Psp3        | 3                       | 0               | 0%     |
| Chc1        | 3                       | 0               | 0%     |
| Chc2        | 3                       | 1               | 66.66% |
| Chc3        | 3                       | 0               | 100%   |

## Annexe 1.3 : test de germination

| Les plantes | Nb de grains | Nb de grains germi | TG  |
|-------------|--------------|--------------------|-----|
| Co1         | 10           | 0                  | 0%  |
| Co2         | 10           | 3                  | 30% |
| Co3         | 10           | 0                  | 0%  |
| Ssp1        | 10           | 1                  | 10% |
| Ssp2        | 10           | 1                  | 10% |
| Ssp3        | 10           | 0                  | 0%  |
| Chc1        | 10           | 1                  | 10% |
| Chc2        | 10           | 1                  | 10% |
| Chc3        | 10           | 1                  | 10% |
| Psp1        | 10           | 0                  | 0%  |
| Psp2        | 10           | 0                  | 0%  |
| Psp3        | 10           | 1                  | 10% |

## Annexe 1.4 : test d'activité biologique du sol

| Les espèces | Résultats |
|-------------|-----------|
| Co1         | 5.1-3.8   |
| Co2         | 6.3-6.7   |
| Co3         | 4.6-5.7   |
| Ssp1        | 3.5-4.1   |
| Ssp2        | 4.9-5.6   |
| Ssp3        | 3.7-3.9   |
| Chc1        | 5-5.2     |
| Chc2        | 4.2-4.9   |
| Chc3        | 4.3-4.5   |
| Psp1        | 6.2-4.5   |
| Psp2        | 4.6-5     |
| Psp3        | 6.4-7.2   |

## Annexe 1.5 : test de catalase.

| espèces | résultats |
|---------|-----------|
| Co1     | 0.1       |
| Co2     | 0.1       |
| Co3     | 0.1       |
| Ssp1    | 0.1       |
| Ssp2    | 0.1       |
| Ssp3    | 0.1       |
| Chc1    | 0.1       |
| Chc2    | 0.1       |
| Chc3    | 0.1       |
| Psp1    | 0.1       |
| Psp2    | 0.05      |
| Psp3    | 0.05      |

**Annexe 2 : Résultats des analyses statistiques.**

Analysis of Variance Table

Response: RWC

Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(&gt;F)

Sp 3 10929.1 3643.0 82.042 2.386e-06 \*\*\*

Residuals 8 355.2 44.4

---

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

RWC groups

Co 84.72000 a

Ssp 82.24333 a

Psp 48.03333 b

Chc 10.54000 c

Kruskal-Wallis rank sum test

data: BA by Sp

Kruskal-Wallis chi-squared = 10.385, df = 3, p-value = 0.01556

BA groups

Ssp 11 a

Co 8 b

Psp 5 c

Chc 2 d

Kruskal-Wallis rank sum test

data: BR by Sp

Kruskal-Wallis chi-squared = 7.5128, df = 3, p-value = 0.05723

Analysis of Variance Table

Response: CO2

| Df        | Sum Sq | Mean Sq  | F value   | Pr(>F) |        |
|-----------|--------|----------|-----------|--------|--------|
| Sp        | 4      | 0.027742 | 0.0069354 | 1.27   | 0.3442 |
| Residuals | 10     | 0.054608 | 0.0054608 |        |        |

Kruskal-Wallis rank sum test

data: TM by Sp

Kruskal-Wallis chi-squared = 11.894, df = 4, p-value = 0.01816

TM groups

Chc 8 a

Co 6 b

Psp 6 b

Ssp 6 b

Kruskal-Wallis rank sum test

data: TG by Sp

Kruskal-Wallis chi-squared = 4.8696, df = 4, p-value = 0.3009

• **Détermination de la biomasse végétale :  $BV = PSa + PSr$**

**BA** : biomasse végétale.

**PSa** : poids sec de la partie aérienne.

**PSr** : poids sec de la partie racinaire.

## Résumé

La pollution des sols par les hydrocarbures constitue une problématique environnementale majeure en raison de leurs effets toxiques et persistants sur les écosystèmes. Face aux limites des techniques de dépollution conventionnelles, la phytoremédiation apparaît comme une approche écologique, économique et durable. Le présent travail a porté sur l'évaluation du potentiel de quatre plantes ornementales - *Crassula ovata*, *Chlorophytum comosum*, *Pothos sp.* et *Syngonium sp.* - dans la décontamination d'un sol artificiellement pollué par de l'essence et du gazole. L'expérimentation a été réalisée en culture dans des pots, et l'efficacité phytoremédiatrice a été évaluée à travers divers paramètres : biomasse végétale, teneur relative en eau (RWC), activité biologique du sol (respiration microbienne, activité catalase), tests écotoxicologiques (vers de terre, germination du maïs), ainsi que l'analyse spectrophotométrique des hydrocarbures aromatiques (HA) présents dans les sols et tissus végétaux.

Les résultats ont montré que *Crassula ovata* et *Syngonium sp.* possèdent une meilleure tolérance au stress induit par les hydrocarbures, avec une biomasse et une RWC plus élevées, alors que *Chlorophytum comosum* et *Pothos sp.* ont présenté des performances limitées. L'analyse des HA a confirmé des capacités différenciées d'absorption et/ou de dégradation selon les espèces. Globalement, ces observations confirment l'intérêt des plantes ornementales dans la phytoremédiation in situ, leur caractère non comestible représentant un atout supplémentaire en termes de sécurité environnementale. Cette étude met en évidence la faisabilité de l'utilisation des plantes ornementales pour la dépollution des sols contaminés par les hydrocarbures et ouvre la voie à des recherches complémentaires sur des essais en conditions réelles, la synergie plante-microorganismes et l'optimisation des processus de dégradation.

**Mots-clés :** Phytoremédiation – Plantes ornementales – Sols contaminés – Carburants

## Abstract

Soil pollution by hydrocarbons represents a major environmental issue due to their toxic and persistent effects on ecosystems. In response to the limitations of conventional remediation techniques, phytoremediation emerges as an ecological, cost-effective, and sustainable alternative. This study aimed to evaluate the phytoremediation potential of four ornamental plants - *Crassula ovata*, *Chlorophytum comosum*, *Pothos sp.*, and *Syngonium sp.* - for the decontamination of soil artificially polluted with gasoline and diesel fuel. The experiment was conducted under controlled pot culture conditions, and the phytoremediation efficiency was assessed through various parameters: plant biomass, relative water content (RWC), soil biological activity (microbial respiration, catalase activity), ecotoxicological tests (earthworms and maize germination), as well as spectrophotometric analysis of aromatic hydrocarbons (AHs) in soils and plant tissues.

The results indicated that *Crassula ovata* and *Syngonium sp.* exhibited higher tolerance to hydrocarbon-induced stress, with greater biomass production and water retention capacity, while *Chlorophytum comosum* and *Pothos sp.* showed more limited performance. AH analysis confirmed species-dependent differences in absorption and/or degradation capacities. Overall, these findings highlight the relevance of ornamental plants in in situ phytoremediation, with the additional advantage of eliminating the risk of pollutant transfer to the food chain.

This study demonstrates the feasibility of using ornamental plants for the remediation of hydrocarbon-contaminated soils and provides a basis for future research involving field trials, plant-microorganism interactions, and the optimization of hydrocarbon degradation processes.

**Keywords:** Phytoremediation - Ornamental plants - Contaminated soil - Fuels