



Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université de Boumerdes

Faculté des sciences

Département de biologie

## Mémoire

De fin d'études En vue de l'obtention du diplôme Master II en Biologie

Spécialité : Biodiversité et environnement

### Thème :

# Réponse de quatre espèces à la pollution de sol par Des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP).

Réalisé par :

- Bouchou Amina.
- Sefraoui Hocine.

Devant le jury :

<b>Mr Bellout Y.</b>	<b>Maître de conférences à L'UMBB.</b>	<b>Promoteur</b>
<b>Mr Benseghir L.</b>	<b>Maître assistant à L'UMBB.</b>	<b>Président</b>
<b>Mr Latreche Kh.</b>	<b>Maitre de conférences à L'UMBB.</b>	<b>Examineur</b>

Année universitaire : 2019 /2020

## Liste des figures

<b>Figure 01 :</b> Conditions gouvernant la mise en œuvre d'un traitement des terres par phytoremédiation.....	14
<b>Figure 02 :</b> Processus influençant le devenir des polluants dans les sols (Maes et al, 2007).....	16
<b>Figure 03 :</b> techniques de dépollution des sols par lieu de traitement.....	18
<b>Figure 04 :</b> Schéma générale des mécanismes de la phytoremédiation.....	20
<b>Figure 05 :</b> Actions des plantes sur les polluants et applications pour le traitement des sols pollués.....	21
<b>Figure 06 :</b> procédés de biorémediation.....	23
<b>Figure 07 :</b> Le pois cultivé « <i>Pisum sativum.L</i> » expérience de Gregor Mendel.....	25
<b>Figure 08 :</b> le développement (étape 1,2,3,4) de Système pivotant chez le pois.....	29-30
<b>Figure 09 :</b> photo représente des plantules de Maïs ( <i>Zea mays</i> ).....	31
<b>Figure 10 :</b> photo de <i>Lolium perenne</i> .....	35
<b>Figure 11 :</b> photo de <i>Festuca arundinacea</i> .....	36
<b>Figure 12 :</b> Dissipation du pétrole brut et des HAP purs du sol artificiellement contaminé après 14 jours de traitement (H. Baoune et al, 2019).....	38
<b>Figure 13:</b> Développement de longueur des racines de <i>Zea mays</i> cultivés sur des sols Artificiellement contaminés par des hydrocarbures pétroliers (H. Baoune et al, 2019).....	39
<b>Figure 14:</b> Développement de longueur des plantules de <i>Zea mays</i> cultivés sur des sols artificiellement contaminés par des hydrocarbures pétroliers (H. Baoune et al, 2019).....	40

<b>Figure 15:</b> Teneur en caroténoïdes de <i>Zea mays</i> cultivés sur des sols artificiellement contaminés par des hydrocarbures pétroliers (H. Baoune et al, 2019).....	41
<b>Figure 16:</b> Teneur en totale chlorophylle de <i>Zea mays</i> cultivés sur des sols artificiellement contaminés par des hydrocarbures pétroliers (H. Baoune et al, 2019).....	42
<b>Figure 17 :</b> Résumé graphiques représente l'effet des HAP sur les racines avant et après la remédiation de sol (A.K. Sivaram et al, 2019).....	43
<b>Figure 18 (A) :</b> L'effet de naphthalène sur la hauteur des plantules de pois (S. Agoun-Bahar et al, 2018 ).....	44
<b>Figure 18 (B) :</b> Longueur des racines primaires de pois semis cultivés dans des sols témoins et pollués par le naphthalène à 0,5 (C1), 25 (C2) et 100 (C3) mg/kg de sol (S. Agoun-Bahar et al, 2018 ).....	46
<b>Figure 18 (C) :</b> Nombre des racines latérales de pois semis cultivés dans des sols témoins et pollués par le naphthalène à 0,5 (C1), 25 (C2) et 100 (C3) mg/kg de sol (S. Agoun-Bahar et al, 2018 ).....	47
<b>La figure 19 (A) :</b> Effet de naphthalène sur la teneur en chlorophylle totale (mg/g MV), (S. Agoun-Bahar et al,2018 ).....	48
<b>Figure 19 (B) :</b> Teneur en caroténoïdes des plants de pois cultivés en contrôle Naphtalène pour sol contaminé à 0,5 (C1), 25 (C2) et 100 (C3) mg(S. Agoun-Bahar et al, 2018).....	48
<b>Figure 20 (A) :</b> Activité de la glutathion S-transférase dans la racine des plants de pois cultivés Dans les sols témoins et le naphthalène contaminé à 0,5 (C1), 25 (C2) et 100 (C3) mg/ kg de terre (S. Agoun-Bahar et al, 2018).....	49
<b>Figure 20 (B) :</b> Activité de la glutathion S-transférase dans les feuilles des plants de pois cultivés Dans les sols témoins et le naphthalène contaminé à 0,5 (C1), 25 (C2) et 100 (C3) mg. 1 kg de terre (S. Agoun-Bahar et al, 2018).....	50
<b>Figure 21 :</b> Effet de l'ajout de PGPB sur la dissipation des HAP avec <i>Lolium perenne</i> en présence/Absence PGPB (Seniyat Larai Afegbua & Lesley Claire Batty , 2019).....	52

**Figure 22 :** Effet de l'ajout de PGPB sur la dissipation des HAP avec *F. arundinacea* en présence/Absence PGPB (Seniyat Larai Afegbua & Lesley Claire Batty , 2019).....53

**Figure 23:** Effet de l'ajout de PGPB sur la dissipation des HAP avec des plantes mixtes (*Festuca arundinacea* + *Lolium perenne*) en présence et absence de PGPB (Seniyat Larai Afegbua & Lesley Claire Batty , 2019).....54

## Liste des tableaux

**Tableau 1 :** Classification générale des hydrocarbures.....4

**Tableau 2 :** Liste des 16 HAP (US EPA).....6

**Tableau 3 :** Nom et principaux synonymes du naphthalène, numéros d'identificati.....7

**Tableau 4 :** Nom et principaux synonymes du Fluoranthene , numéros d'identification....8

**Tableau 5 :** Nom et principaux synonymes du phénanthrene , numéros d'identification....9

**Tableau 6 :** Nom et principaux synonymes de l'Anthracène, numéros d'identification....10

**Tableau 7 :** Nom et principaux synonymes du Benzo[a] pyrène , numéros d'identification.....11

**Tableau 8 :** Nom et principaux synonymes du pyrène, numéros d'identification.....12

## Liste des abréviations

**HAP :** hydrocarbures Aromatiques polycycliques

**EPA :** Agence de Protection de l'Environnement

**US EPA :** United States Environmental Protection Agency

**AFNOR :** Association française de normalisation

**BTEX** : Benzène ,Toluène ,éthylbenzène ,Xylènes .

**EDTA** :éthylène diamine tétra acétique.

**FLT** :Fluoranthene.

**As** : Arsenic.

**Cu** : Cuivre.

**Cs** : Césium.

**Sr** : Strontium.

**U** : Uranium.

**CO2** : dioxyde de carbone.

**O2** : Oxygène.

**PCB** : Polychlorobiphényle

**RTA** : Régions Tropicales africains.

**APG** : Classification phylogénétique.(**Angiosperm phylogeny group**).

**RDC** : république démocratique Congo.

**Phe** : phénanthrène.

**Fluo** : fluorenthrène.

**B[a]p** : benzo [ a] pyrène.

**PGPB** : plant growth promoting bacteria.

## Sommaire

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

### Chapitre I : Synthèse bibliographique

<b>I-pollution de sol par les hydrocarbures .....</b>	<b>3</b>
1-Définition des hydrocarbures .....	3
2-Classification des hydrocarbures.....	3
3- SOURCE DES HYDROCARBURES.....	5
4 –Liste des HAP .....	6
a) Naphtalène .....	7
b) Fluoranthène .....	8
c) Phénanthrène .....	9
d) Anthracène .....	10
e) Benzo [a]pyrène.....	11
f) Pyrène .....	12
5-Tests de phytotoxicité .....	12
6-Paramètres respectés pour assurer la réussite d'un phyto-traitement aux sols contaminés aux HAP .....	13
7-Comportement et devenir des hydrocarbures dans le sol.....	14

<b>II-Méthodes de réhabilitation des sols contaminés .....</b>	<b>16</b>
1-Les différentes techniques de dépollution .....	16
2-Classement des méthodes en fonction du lieu de traitement .....	17
<b>III-La phytoremédiation.....</b>	<b>18</b>
1-Définition .....	18
2-Les mécanismes de la phytoremédiation .....	19
3-La phytodégradation des polluants organiques .....	19
4-Microflore tellurique (microorganismes de sol, germe de sol ) .....	20
5- La rhizosphère .....	21
<b>VI- La biorémediation .....</b>	<b>22</b>
1-Définition .....	22
2-La phytodécontamination .....	22
3-Les procédés de biorémediation .....	22
<b>V- Les coûts de la phytoremédiation .....</b>	<b>23</b>
<b>IV- petit pois .....</b>	<b>24</b>
1. Historique de petit pois.....	24
2. Origine et classification botanique « <i>Pisum sativum.L</i> « .....	25
3. Aire de culture .....	26
4. Exigences écologiques .....	26
5. Morphologie de la plante .....	26
1-Racines .....	26

2-Tige, Feuilles et ramifications .....	27
3-Inflorescences et fructification .....	27
4-Le fruit .....	27
5-Le système racinaire .....	27
6- Le système racinaire chez le petit pois .....	29
<b>IIV – Maïs « <i>Zea mays</i> « .....</b>	<b>30</b>
1- Origine et distribution de maïs .....	30
2- Description systématique et morphologie .....	31
3- ECOLOGIE .....	32
4- Conduite culturel.....	33
<b>IIIV- <i>Lolium perenne</i> L., 1753 .....</b>	<b>34</b>
1- Classification APG III .....	34
2- Ecologie .....	34
3- Origine.....	34
4- Floraison.....	34
<b>XI - <i>Festuca arundinacea</i> .....</b>	<b>35</b>
1- Classification APG III .....	35
2- Description .....	36
3- Répartition géographique et habitat .....	36
 <b>Chapitre II : Des Essais scientifiques sur la phytoremediation des HAP</b>	
<b>I.La phytorémediation par <i>Zea mays</i> .....</b>	<b>37</b>
1-La capacité de maïs a éliminée les hydrocarbures pétroliers en présence et absence d'une bactérie .....	38

2-Effet des hydrocarbures pétroliers sur le développement des racines de maïs en présence et absence d'une bactérie tellurique.....	39
3-L'effet des hydrocarbures pétroliers sur la longueur des plantules de maïs en présence et absence d'une bactérie tellurique .....	40
4-Effet des hydrocarbures pétroliers sur la teneur des caroténoïdes de maïs, en présence et absence d'une bactérie tellurique .....	40
5-Effet des hydrocarbures pétroliers sur la teneur en chlorophylle totale de maïs, en présence et absence d'une bactérie tellurique.....	41
6-Effet des HAP sur les racines latérales en présence de faune tellurique.....	42
<b>II-La phytoremédiation par <i>Pisum sativum</i> .....</b>	<b>43</b>
1-Effet de naphthalène sur la hauteur des plantules.....	44
2-Effet de naphthalène sur la longueur des racines primaires.....	45
3- Effet de naphthalène sur le nombre des racines latérales.....	46
4-Effet du naphthalène sur la teneur en pigments photosynthétiques.....	47
a) Chlorophylles totales .....	47
b) Caroténoïdes .....	48
5-Effet du naphthalène sur l'activité glutathion S transférase .....	47
a) Racines.....	49
b) Feuilles.....	50

<b>III-Phytorémediation par <i>Lolium perenne</i> et <i>Festuca arundinacea</i>.....</b>	<b>51</b>
1-Dissipation des HAP avec <i>L.perenne</i> en présence/Absence PGPB (plant growth promoting bacteria ) .....	51
2-Dissipation des HAP avec <i>F. arundinacea</i> en présence/Absence PGPB (plant growth promoting bacteria ) .....	52
3-Dissipation des HAP avec <i>F. arundinacea</i> et <i>L. perenne</i> en présence/Absence PGPB (plant growth promoting bacteria ).....	53
<b>Discussion des résultats .....</b>	<b>55</b>
<b>CONCLUSION .....</b>	<b>58</b>

## *Remerciement*

Remerciements En premier, nous remercions **ALLAH** de nous avoir donné santé, patience et courage pour mener à terme ce modeste travail.

Notre promoteur Mr Bellout Yacine Maître de conférences au département de biologie à la faculté de science UMBB pour ses précieuses orientations, son aide et ses conseils judicieux, et son souci de mener à terme ce travail.

Le chef spécialité de biodiversité et environnement Mr.Amghar Fateh karim

Tous les enseignant(e)s de notre parcours éducatif : primaire, CEM, Lycée,  
Université

Nous remercions aussi très sincèrement les membres de jury Mr Bensghir L.  
et Mr Latreche Kh. d'avoir bien voulu accepter d'évaluer ce travail.



# *Dédicace*

Je dédie ce travail :

A mes très chers parents

♥ Smail et Nacera ♥

Mes sources de tendresse et de force

Je vous remercie d'être toujours à mes côtés

De me soutenir, de m'aimer et de me protéger.

Que dieu vous protège pour moi .

A mon cher frère Abdel Rafik et ma chère sœur Lamia

Ces enfants Abdelhalim ,Abdeldjalil,Mouhamed-Adam

Et Douaa Sirine

A mon binôme Hocine

A mes amies Siham ,Salima ,Meriem

A toute la promotion Biodiversité et environnement

Collègues et enseignant(e)s.

*Amína*

# *Dédicace*

*Grace à DIEU, pour la force qu'il me donne, et qu'il donne  
aux personnes qui m'ont aidées et soutenues*

*A mes très chers parents pour leurs soutiens et leurs  
bénédictions*

*A ma binôme Bouchou Amina*

*A mes frères : Fodil, Nabil, Youcef*

*A mes très chers collègues de travail, chacun en son nom*

*A Mr Bellout Yacine pour sa disponibilité et son soutien*

*A tous ceux qui ont été à mes côtés jusqu'à aujourd'hui.*

*A tous les enseignants qui ont contribué à ma formation*

*A tous mes collègues et ma promotion 2019-2020*

*Hocine*

# INTRODUCTION

## INTRODUCTION

Depuis le début de développement industriel, les activités humaines qu'elles soient industrielles, agricoles ou domestiques, ont produit des quantités croissantes des substances et de déchets qui présentent des risques pour la santé de l'homme et qui peuvent dégrader l'environnement (GIRARD ,2005), parmi ces substances les hydrocarbures aromatiques polycycliques.

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) sont une grande classe de polluants environnementaux persistants et hydrophobes émis dans l'environnement par combustion incomplète ou pyrolyse de combustibles fossiles ou de matières organiques ( Desalme et coll., 2011 ). Ces composés ainsi que les produits de leur transformation comme le naphthalène fluoranthène , phénanthrène , anthracène ...etc présentent un danger pour tous les organismes vivants en ce qui concerne leur distribution dans la biosphère, leurs propriétés de risque et leurs capacités d'accumulation dans les tissus animaux et végétaux ( Sverdrup et coll., 2003 ).

La connaissance des risques posés par ces substances a incité les chercheurs à trouver des techniques biologiques non potable et non couteuse pour les éliminer ou les dégrader, parmi ces techniques la phytoremédiation.

Cette technique nécessite la présence des plantes. Les plantes sont des composants essentiels des écosystèmes terrestres, et en tant que producteurs primaires, ils permettent l'absorption et le transfert des HAP à un niveau trophique supérieur ( Aina et al., 2006; Zuo et al., 2006 ).

Au cours de la phytoremédiation , la plante accélère le processus de bioremédiation des hydrocarbures en augmentant leur dégradation par les microorganismes du sol.

Afin de connaître les réactions du *Pisum sativum L.* , *Zea mays L.*, *Lolium perenne L.* et *Festuca arundinacea* , vis-à-vis d'une contamination par un hydrocarbure aromatique polycyclique, nous avons étudiée les effets du naphthalène à différentes concentrations sur la croissance racinaire ,Hauteur des plantules ,La teneur en chlorophylle et caroténoïdes et L'activité de glutathion S-Transférerase( Feuilles et racines) sur petite pois.

Nous avons aussi étudiées l'effet de pétrole brute, phénanthrène, Anthracène et pyrène sur le développement racinaire ,longueur des plantules ,la teneur en chlorophylle et caroténoïdes sur *Zea mays* , en présence et absence de *streptomyces sp Hlh 1*.et Le pourcentage de dissipation des phénanthrène ,anthracène et Benzo[a]pyrène par *L.perenne* d'un coté , et par *F.arundinacea* d'un autre coté ,en suite par les deux espèces en collaboration ,En présence et absence de PGPB (Plant Growth Promoting Bactéria ).

Ces études étaient en but d'avoir l'efficacité de ces plantes dans la phytoremédiation des HAP.

Ce présent travail comprend deux chapitres, le premier consiste en un rappel bibliographique concernant des généralités sur les hydrocarbures aromatiques polycycliques « Fluoranthène , Naphtalène, Phénanthrène, Anthracène, Benzo [a] pyrène et le Pyrène » ainsi que des généralités sur la symbiose Rhizobium-légumineuses,La technique de phytoremédiation en synchronisation par la biorémediation , et sur *Pisum sativum .L* , *Zea mays .L* , *Lolium perenne.L* et *Festuca arundinacea*.

Le deuxième chapitre présente l'ensemble des résultats de recherche tirées de différentes articles , contenant les effets des différentes concentrations des hydrocarbures aromatiques polycycliques sur *pisum sativum* , *Zea mays* ,*Lperenne* et *F.arundinacea* et des interprétations et discussion de ces résultats et le manuscrit est achevé par une conclusion générale et des perspectives.

# Chapitre I :

# Synthèse

# Bibliographique

## I-Pollution du sol par hydrocarbures

La pollution des sols par les hydrocarbures est due à des rejets chroniques ou accidentels des produits pétroliers tant au niveau des sites d'exploration et d'exploitation qu'au niveau du transport. Elle constitue un problème économique majeur. L'usage des hydrocarbures émet dans l'atmosphère, dans l'eau et dans le sol des quantités importantes de substances dangereuses. Le sol étant le support indispensable aux animaux, aux végétaux terrestres et à l'homme, toute pollution de celui-ci retentira sur la flore, la faune et sur l'homme lui-même (Koller, 2004).

### 1-Définition des hydrocarbures

Les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) sont des polluants organiques issus de la combustion incomplète de matières carbonées. Emis dans l'environnement, les sols constituent leur principal point de fuite. Faiblement solubles dans l'eau et peu biodégradables, ce sont des polluants rémanents souvent associés à un caractère toxique et cancérigène. Les techniques actuelles de dépollution des sols reposent sur des moyens lourds, coûteux et présentant souvent des risques environnementaux. Ainsi, l'utilisation de surfactants d'origine biologique présente un potentiel intéressant pour favoriser la remobilisation.

### 2- Classification des hydrocarbures

On distingue trois grandes familles de composés, présentées dans le tableau 1.1 :

- **Les hydrocarbures saturés** : qui ne comportent que des liaisons carbone-carbone simples .ils se divisent en deux catégories :
  - les paraffines ou alcanes, à chaînes carbonées ouvertes.
  - les naphènes ou cyclanes, dans lesquels les chaînes se ferment sur elles-mêmes pour former des cycles.
- **Les hydrocarbures insaturés** : qui se répartissent eux-mêmes en deux groupes distincts :
  - Les oléfines avec une ou plusieurs doubles liaisons, appelées dans la nomenclature officielle, alcènes ou cyclènes selon qu'elles se présentent

sous forme de chaînes ou de cycles.

-Les acétyléniques ou alcynes, caractérisés par l'existence d'au moins une triple liaison. Dans cette famille les composés cycliques que l'on appellerait cyclènes, sont très rares.

- **Les hydrocarbures aromatiques** : qui contiennent un ou plusieurs cycles insaturés à six atomes de carbones. Comme celui constituant le benzène.

**Tableau1 : Classification générale des hydrocarbures.**

Type de famille	Désignation courante	Désignation officielle	Motif structural	Formule globale
Saturés	Paraffines	Alcanes	$\begin{array}{c}   \quad   \\ -C-C- \\   \quad   \end{array}$	$C_nH_{2n+2}$
	Naphtènes	Cyclanes	Cycle à 3, 4, 5 ou 6 carbones	$C_nH_{2n}^*$
Insaturés	Oléfines**	Alcènes	$\begin{array}{c} \diagdown \quad / \\ C=C \\ / \quad \diagdown \end{array}$	$C_nH_{2n}^{***}$
	Acétyléniques	Alcynes	$-C \equiv C-$	$C_nH_{2n-2}$
Aromatiques	Aromatiques	-		$C_nH_{2n-6}^{****}$

\* Formule valable uniquement pour les composés à un seul cycle.

\*\* Les cyclooléfines, dioléfines et polyoléfines sont classées dans cette catégorie.

\*\*\*Formule valable uniquement pour les monooléfines non cycliques.

\*\*\*\* Formule valable uniquement pour les composés à un seul cycle benzénique à chaîne latérale saturée.

## 3- SOURCE DES HYDROCARBURES

En fonction de leurs sources d'émission, les HAP sont classés en trois groupes de phylogènes (naturels), pétrogènes, pyrogénique.

Leur origine a un rôle clé dans la reconnaissance de type de polluants et les circonstances de migration (Douglas et al, 2007). Ils sont transférés à l'environnement par **adsorption, dissolution, dispersion, l'évaporation** et d'autres procédés (Gogou et al., 2000; Kim et al. 2009; Page et al. 1996; Wang et al. 2004).

- **Les HAP Pétrogéniques** : Produits dérivés de pétrole brut, comme les lubrifiants et les sources de carburants qui fuient habituellement des réservoirs et par conséquent polluer les eaux souterraines (Zakaria et al, 2002).

Les principaux HAP d'une source pétrolière sont les HAP prioritaires de l'EPA 16 et les HAP spécifiques au pétrole homologues alkylés (PAH1-PAH4) de certains HAP, à savoir le naphtalène alkylé, le phénanthrène, dibenzothiophène, fluorène et chrysène.

Les centrales électriques (Hailwood et al., 2001; Masclet et al. 1987). Les contaminants de l'aluminium l'éperlan et le ruissellement agricole et industriel ont également ont apporté une contribution importante aux activités de production d'HAP.

- **Les HAP pyrogènes** : Le manque d'oxygène et la température élevée conditions appropriées dans lesquelles les HAP pyrogènes sont produit par la combustion , Craquage, pyrolyse, et la combustion incomplète (Saber et al. 2006). Le composé est plus disponible dans les milieux aquatiques (Wickramasinghe et al. 2011).
- **Les HAP naturels** : Activités volcaniques, incendies de forêt et infiltrations de pétrole sont d'autres exemples de sources de HAP. produits lors de conversions chimiques de matières organiques dans les plantes, les planctons, les micro-organismes, champignons, sédiments, etc. (Stogiannidis et Laane 2015).

**4 –Liste des HAP :**

Ce tableau contient la liste des 16 Hydrocarbures aromatiques polycycliques prioritaires de l'United states environmental protection agency (US EPA).

**Tableau 2 : Liste des 16 HAP (US EPA).**

<b>Nom</b>	<b>N° CAS</b>
<b>Naphtalène</b>	91-20-3
<b>Acénaphtylène</b>	208-96-8
<b>Acénaphène</b>	83-32-9
<b>Fluorene</b>	86-73-7
<b>Phénanthrène</b>	85-01-8
<b>Anthracène</b>	120-12-7
<b>Fluoranthene</b>	206-44-0
<b>Pyrène</b>	129-00-0
<b>Benzo(a)anthracène</b>	56-55-3
<b>Chrysene</b>	218-01-9
<b>Benzo(b)Fluoranthene</b>	205-99-2
<b>Benzo(k)fluoranthene</b>	207-08-9
<b>Benzo(a)pyrène</b>	50-32-8
<b>Dibenzo(ah)anthracène</b>	53-70-3
<b>Benzo(gh)péryléne</b>	191-24-2
<b>Indéno(1,2,3,cd)pyrène</b>	193-39-5

## a) Naphtalène :

### i. -Identification/caractérisation de naphtalène

(\*) Dans les conditions ambiantes habituelles

**Tableau 3 : Nom et principaux synonymes du naphtalène, numéros d'identification.**

Substance chimique	N° CAS	N° EINECS	Synonymes	Forme physique (*)
Naphtalène $C_{10}H_8$ 	91-20-3	202-049-5	naphtaline naphène	solide cristallisé dans les conditions ambiantes habituelles, cristaux lamellaires brillants de couleur blanche, odeur caractéristique.

### ii. -Principes de production

Le naphtalène peut être produit à partir de goudron de houille ou de pétrole. La distillation du goudron est le moyen de production le plus répandu. La fraction la plus riche en naphtalène est refroidie et le naphtalène cristallisé recueilli est raffiné par distillation, lavage ou sublimation. Depuis 1960, la production à partir du pétrole par désalkylation des méthylnaphtalènes en présence d'hydrogène à haute température et pression s'est également développée.

### iii. Utilisations et restrictions d'usages

Le naphtalène est principalement utilisé comme intermédiaire dans la fabrication d'anhydride phtalique (plus de 60 % de la production) servant à produire des phthalates, plastifiants, résines, teintures, répulsifs pour insectes etc...

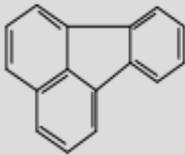
Il est également utilisé dans la fabrication de produits destinés au tannage du cuir et entre dans la composition d'agents tensio-actifs (sulfonates de naphthalène et dérivés utilisés comme dispersants ou agents mouillants en peinture, teinture et formulation de papier d'emballage). Le naphthalène est également utilisé comme répulsif pour les mites.

## b) La fluoranthène

### i. Identification/caractérisation de fluoranthène

(\* ) dans les conditions ambiantes habituelles

**Tableau 4 : Nom et principaux synonymes du Fluoranthene , numéros d'identification.**

Substance chimique	N° CAS	N° EINECS	Synonymes	Forme physique (*)
FLUORANTHENE  $C_{16}H_{10}$  	206-44-0	205-912-4	Benzacénaphène 1,2-benzacenaphtene 1,2-[1,8-naphtylene]benzene 1,2-[1,8-naphtalenedyl]benzene benzo[j,k]fluorene idryl	solide cristallisé  sous forme d'aiguilles ou de cristaux plats

### ii. Principes de production

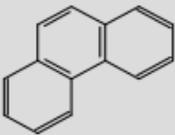
Quelques HAP, dont le fluoranthène, sont produits à des fins industrielles. Le fluoranthène fait partie des principaux constituants des goudrons lourds issus du charbon. Il est obtenu par distillation à haute température (353 à 385 °C) d'huile d'anthracène ou de brai. Il est également formé lors de la combustion incomplète du bois et du fioul.

### iii. Utilisations de fluoranthène

Est utilisé en revêtement de protection pour l'intérieur des cuves et des tuyaux en acier servant au stockage et à la distribution d'eau potable. Il est utilisé comme intermédiaire dans la fabrication de teintures, notamment de teintures fluorescentes. Il est également employé dans la fabrication des huiles diélectriques et comme stabilisant pour les colles époxy. En pharmacie, il sert à synthétiser des agents antiviraux.

### c) Phénanthrène

**Tableau 5 : Nom et principaux synonymes du phénanthrène ,  
numéros d'identification.**

Substance chimique	N° CAS	N° EINECS	Synonymes	Forme physique (*)
$C_{14}H_{10}$ 	85-01-8	201-581-5	Phenantrin	solide cristallisé cristaux monocliniques incolores brillants

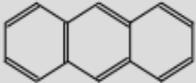
#### i. Principes de production

Le phénanthrène est présent dans l'huile d'anthracène obtenue par distillation du goudron de houille. Il est recueilli dans le filtrat de résidus d'anthracène cristallisé ou dans la fraction légère de distillation de l'anthracène brut.

#### ii. Utilisations

Le phénanthrène est utilisé dans les industries des matières colorantes, dans les explosifs et dans les produits pharmaceutiques. Il sert de base pour la production d'autres substances chimiques (9,10-phénanthrénequinone, acide 2,2 diphénique), et entre dans la composition de substances conductrices d'électricité utilisées dans les batteries et les cellules solaires.

**d) Anthracène****Tableau 6 : Nom et principaux synonymes de l'Anthracène, numéros d'identification.**

Substance chimique	N° CAS	N° EINECS	Synonymes	Forme physique (*)
ANTHRACENE $C_{14}H_{10}$ 	120-12-7	204-371-1	paranaphtalène anthracin	solide cristallisé sous forme de feuillets

**i. Principes de production**

La distillation des goudrons de charbon permet de recueillir de l'huile d'anthracène, riche en anthracène dans la fraction correspondant à des températures d'ébullition comprises entre 300 et 360 °C. Le phénanthrène et le carbazole, également présents dans l'huile d'anthracène, sont éliminés par des distillations et des cristallisations successives, ou par extraction avec des solvants appropriés permettant d'obtenir de l'anthracène pur à 95 %. De l'anthracène très pur peut être préparé à partir d'antraquinone de synthèse.

**ii. Utilisations et restrictions d'usage**

L'anthracène est utilisé comme intermédiaire chimique pour la préparation de matières colorantes et pour la formation de polyradicaux destinés à la fabrication de résines. Il est principalement employé pour la fabrication de l'antraquinone (intermédiaire pour la fabrication de teintures). Il a été utilisé comme diluant des produits de protection du bois, comme insecticide et comme fongicide. Il est d'autre part employé pour synthétiser l'agent de chimiothérapie anticancéreuse "Amsacrine" (Amsidine®).

e) **Benzo [a]pyrene****Tableau 7 : Nom et principaux synonymes du Benzo[a] pyrène ,  
numéros d'identification.**

Substance chimique	N° CAS	N° EINECS	Synonymes	Forme physique (*)
Benzo(a)pyrène  C <sub>20</sub> H <sub>12</sub> 	50-32-8	200-028-5	B(a)P Benzo(def)chrysène Benz(a)pyrene 3,4-benzopyrene 3,4-benz(a)pyrene 3,4-benzopyrene	solide cristallisé

i. **Principes de production**

Le benzo(a)pyrène n'est produit qu'en très petites quantités, par distillation fractionnée de charbon bitumineux renfermant des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HSDB, 2000).

ii. **Utilisations et restrictions d'usage**

Le benzo (a) pyrène entre dans la fabrication de produits étalons. Il est utilisé en très faibles quantités dans certains laboratoires d'analyse ou de toxicologie (INRS, 2007).

## f) Pyrène

**Tableau 8 : Nom et principaux synonymes du pyrène, numéros d'identification.**

Substance chimique	N° CAS	N° EINECS	Synonymes	Forme physique
Pyrène $C_{16}H_{10}$ 	129-00-0	204-927-3	Benzo(def)phenanthrène  Beta-pyrene Pyrene, benzo(def)phenanthrene	solide cristallisé  sous forme de tablettes

## i. Principes de production

Le goudron de charbon contient en moyenne 2 % de pyrène. Celui-ci est extrait d'une fraction se cristallisant au-dessus de 110 °C obtenue par redistillation d'huile d'antracène Ç haut point d'Ébullition, ou Ç partir d'un distillat de brai.

## ii. Utilisations

Outre ses applications en recherche, le pyrène est utilis pour la fabrication de teintures, dans la synthèse de substances utilisées en optique pour leur brillance, et comme additif dans les huiles d'isolation Électrique.

## 5-Tests de phytotoxicité

La phytotoxicité des HAP peut être évaluée grâce à la mise en place de tests non spécifiques dont certains sont normalisés. Trois types de tests sont couramment mis en œuvre:

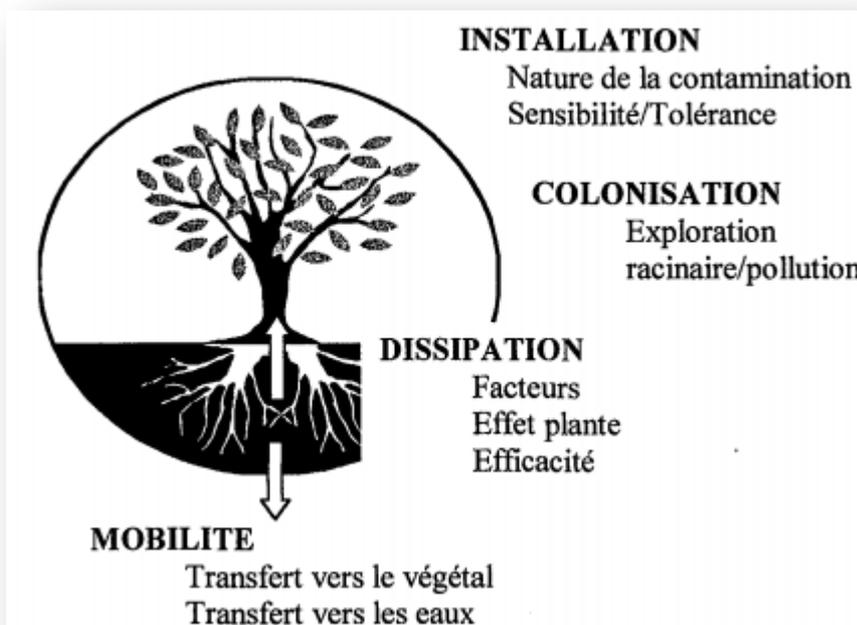
- les tests de développement : ces tests normalisés étudient l'inhibition de la germination (AFNOR X31-201), de la croissance (AFNOR X31-202) ou de l'élongation racinaire (AFNOR X31-203) en présence de concentrations croissantes

de substances données. Les tests basés sur l'observation de symptômes, par exemple des chloroses au niveau des feuilles, et la mesure de leur intensité.

- les tests basés sur la mesure de l'inhibition d'un phénomène métabolique en présence de la substance supposée phytotoxique. Les phénomènes les plus étudiés sont relatifs aux processus conduisant à la production de biomasse: photosynthèse et fixation de l'azote atmosphérique par les espèces légumineuses.
- Le test de germination, dont la durée est courte, permet d'évaluer une toxicité aiguë, quasi instantanée suite au contact avec la substance testée. Le test de croissance et le test d'élongation racinaire permettent d'évaluer une toxicité chronique, résultante d'un ensemble d'effets cumulés sur une période plus longue. Si le test de germination est largement utilisé, le test de croissance, et secondairement le test d'élongation racinaire, sont cependant plus pertinents pour étudier la phytotoxicité d'une substance. En effet, la phase de germination est une étape du développement végétal au cours de laquelle la plantule puise dans les réserves de la graine. Les échanges avec le sol sont donc plus limités que dans les phases ultérieures de la croissance, où l'acquisition des éléments nécessaires à la constitution des tissus, ainsi que, potentiellement, les substances phytotoxiques qui s'y trouvent, sont puisés uniquement dans le sol et l'atmosphère.

### **6-Paramètres respectés pour assurer la réussite d'un phyto-traitement aux sols contaminés aux HAP**

- L'installation des plantes sur les terres contaminées.
- La colonisation de ces terres par les racines.
- L'efficacité du système sol-plante-microorganismes associés pour décontaminer.
- L'absence de mobilisation et de transport des polluants vers les eaux ou les plantes.



**Figure 01 : Conditions gouvernant la mise en œuvre d'un traitement des terres par phytoremédiation.**

## 7-Comportement et devenir des hydrocarbures dans le sol

Les hydrocarbures pétroliers libérés dans l'environnement sont sujets à de nombreux procédés chimiques, physiques et biologiques qui vont changer leur composition (Jordan et Payne, 1980). La dégradation du pétrole dans les sols est gouvernée par :

**1 - l'évaporation** : Dans les premières heures qui suivent un déversement, l'évaporation est le processus de dégradation le plus significatif, en particulier pour les hydrocarbures légers. En contact avec l'air, les molécules légères du produit pétrolier déversé se volatilisent. Pour les produits légers, la perte par évaporation peut s'élever à plus de 70 % contre 5-10 %, seulement, pour les hydrocarbures lourds (Fingas, 1995) .

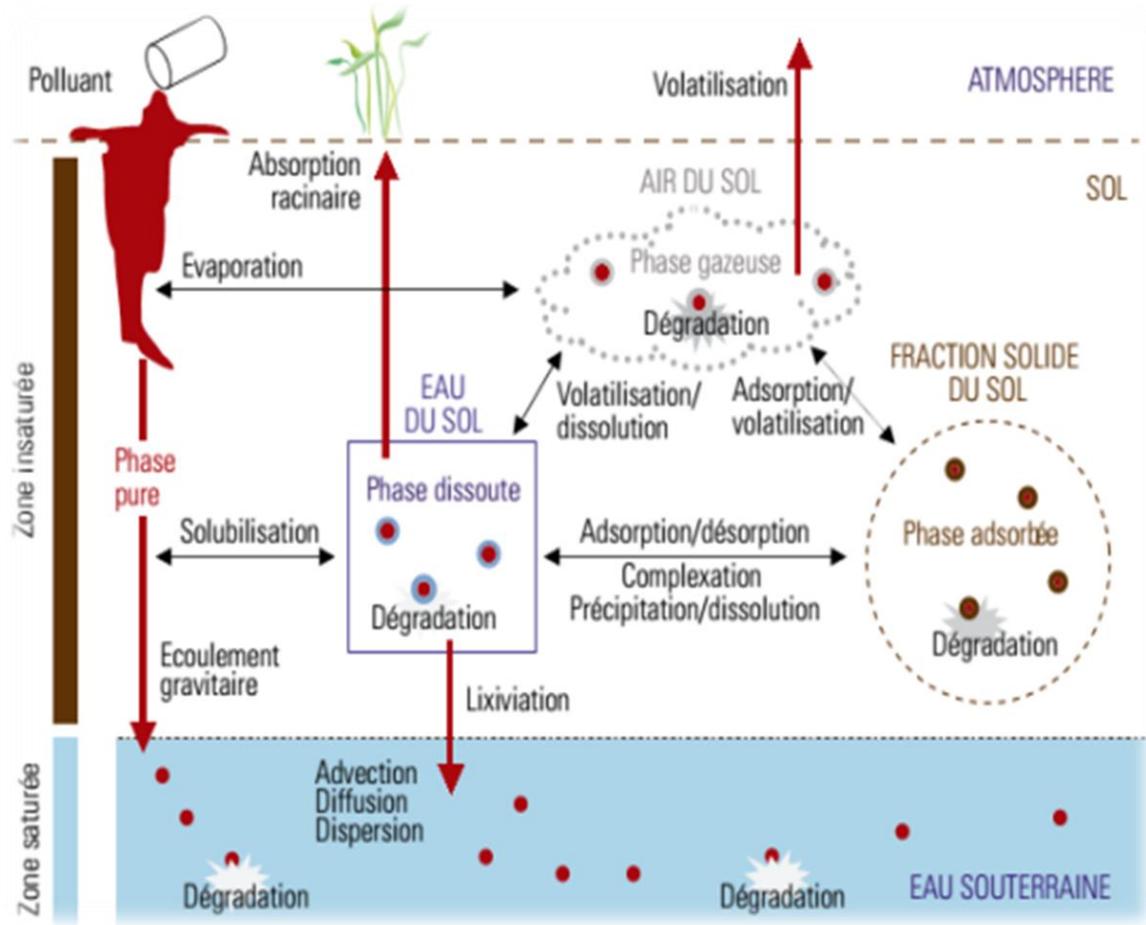
**2 - la dissolution** : La quantité d'hydrocarbures se dissolvant dans l'eau va dépendre de la structure moléculaire, de la polarité et de la solubilité des composés. De manière générale, les hydrocarbures aromatiques sont plus solubles que les hydrocarbures aliphatiques, la

solubilisation diminue avec le nombre de carbone et les hydrocarbures les plus légers sont les plus solubles. Ainsi, en contact avec l'eau, ces molécules sont éliminées par lessivage ou dissolution .

**3- la biodégradation.** La biodégradation est le principal processus qui change la composition des hydrocarbures (Prince, 1993 ; Leahy et Colwell, 1990). Celle-ci dépend de deux facteurs : (i) la présence de microorganismes aptes à la biodégradation des hydrocarbures (ii) les facteurs de croissance (présence/absence d'oxygène ou de nutriments...) qui influent sur la dynamique des microorganismes. La biodégradation des hydrocarbures est favorisée en présence d'oxygène (milieu aérobie). Toutefois, il a été prouvé que des milieux anaérobies permettent l'oxydation des hydrocarbures (Cervantes et al., 2000) à la condition d'être en présence d'autres oxydants (ou accepteurs d'électrons) comme les sulfates, nitrates, fer III ou perchlorates. Les microorganismes dégradent les hydrocarbures de manière préférentielle. Ainsi, lors de la dégradation du pétrole, on voit la disparition successive (Oudijk, 2009) : des n-alcanes légers, des BTEX, des alkylcyclohexanes et alkylbenzènes, des isoprénoides, C1-naphtalène, benzothiophène et alkylbenzothiophène, C2-naphtalène, des autres HAP .

**4 - la photooxydation**( La photooxydation) : est un paramètre très important à considérer lors de la dégradation des hydrocarbures pétroliers (Garrett et al., 1998). La photooxydation produit de nombreux composés très solubles dans l'eau. Tous les processus d'altération vont largement affecter la composition chimique des hydrocarbures et provoquer des changements dans les propriétés physiques et chimiques des hydrocarbures déversés dans l'environnement. Le degré d'altération (légèrement, modérément ou sévèrement dégradé) et la vitesse de dégradation sont différents pour chaque déversement et sont contrôlés par des conditions diverses telles que :

- \* La nature du produit déversé.
- \* Les conditions environnementales du site.
- \* L'activité microbiologique du site.



**Figure 02 : Processus influençant le devenir des polluants dans les sols (Maes et al, 2007).**

## II-Méthodes de réhabilitation des sols contaminés

### 1-Les différentes techniques de dépollution

Peuvent être classées en fonction de la nature des procédés employés, à savoir :

**1- Les procédés physiques** : le principe consiste à utiliser des fluides (eau ou gaz), présents dans le sol ou injectés, comme vecteur pour transporter la pollution vers des points d'extraction ou pour l'immobiliser.

**2- Les procédés chimiques** : ils utilisent les propriétés chimiques des polluants pour, à l'aide de réactions appropriées, les inertes (précipitation, etc.), les détruire (oxydation, etc.) ou les séparer du milieu pollué (surfactants, etc.).

**3 - Les procédés thermiques** : ils utilisent la chaleur pour détruire le polluant (ex : incinération), l'isoler (ex : désorption thermique, thermolyse, etc.), ou le rendre inerte (ex : vitrification, etc.).

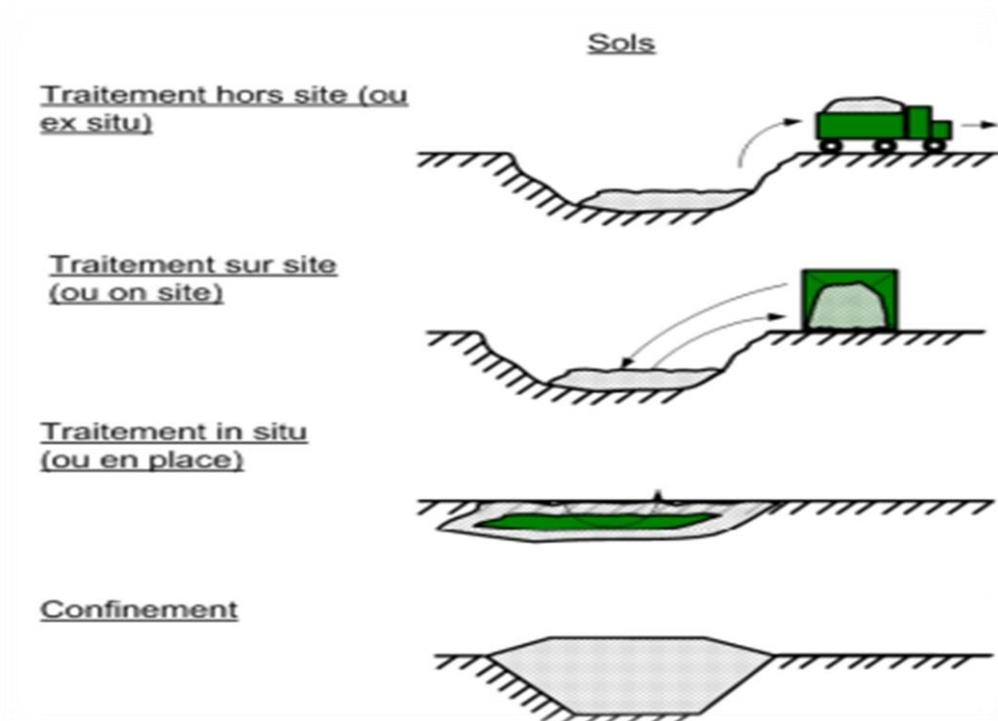
**4- Les procédés biologiques ( La biorémediation et la phytorémediation)** : ils consistent à utiliser des micro-organismes, le plus souvent des bactéries (mais aussi des champignons et des végétaux), pour favoriser la dégradation totale ou partielle des polluants. Certains bioprocédés permettent aussi de fixer ou de solubiliser certains polluants.

## **2-Classement des méthodes en fonction du lieu de traitement**

Les techniques de dépollution peuvent aussi être classées en fonction du lieu de traitement.

On distingue les traitements suivants :

- **Traitements hors site (ou ex situ)** : ils supposent l'excavation/extraction du milieu pollué (déchets, terre, eau) et son évacuation vers un centre de traitement adapté (incinérateur, centre d'enfouissement technique, etc.).
- **Traitements sur site (ou on site)** : ils consistent à excaver les terres ou les eaux **polluées et à les traiter sur le site même.**
- **Traitements in situ (ou en place)** : ils correspondent à un traitement sans excavation : le sol et les eaux souterraines sont laissés en place. Il s'agit alors soit d'extraire le polluant seul, soit de le dégrader ou de le fixer dans le sol.
- **Confinement** : il consiste à empêcher / limiter la migration des polluants.



**Figure 03 : techniques de dépollution des sols par lieu de traitement**

### III-La phytoremédiation

#### 1-Définition

La phytoremediation est l'utilisation des plantes pour retirer les polluants de l'environnement (phyto-extraction) ou pour les rendre moins disponibles (phyto-stabilisation) (salt et al.,1998 ;kumar et al.,1995 ;Burken et schnoor,1999 ;Banuelos et al.,1997 ;Pulford et Waston,2003).

Parmi les avantages, Ces méthodes présentent un coût plus faible par rapport à beaucoup d'autres méthodes de rémediation des sols et répondent à un désir d'utiliser un procédé « vert » (Pulfors et Waston,2003).

Dans le cas de phyto-stabilisation les polluants en solution sont précipités, absorbés ou capturés, soit dans divers tissus végétaux, soit dans la matrice de sol (Cunningham et al.1995).

## 2-Les mécanismes de la phytoremédiation

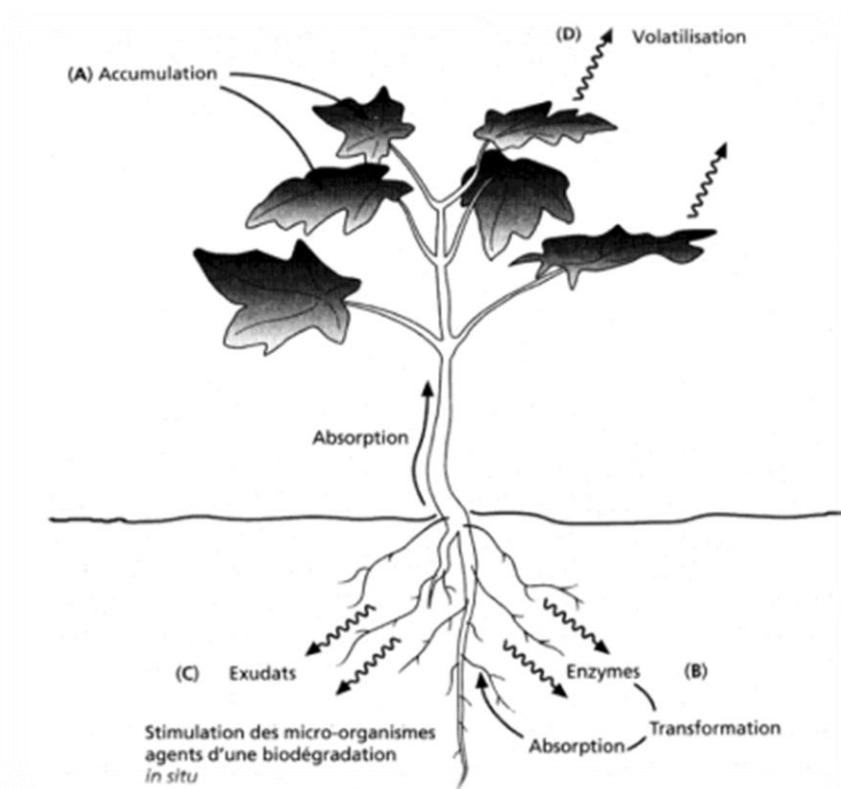
Le terme phytoremédiation regroupe différentes techniques ; la phytoextraction , la phytostabilisation ,la phytovolatilisation ,la rhizofiltration et la phytodégradation (Chaney et al.,1997 ;Pulford et al.,2003 ;Lone et al.,2008).

- **Phytoextraction** : La plante extrait les polluants du sol et les concentre dans les parties récoltables. Dans le cas de La phyto-extraction ,l'ajout de chélateurs tels que L'EDTA ou L'adjonction d'amendements organiques sont possibles pour augmenter le nettoyage des sols contaminés avec des effets plus ou moins importantes sur la disponibilité des métaux traces(Thayalakumaran et al.,2000 ;Madrid et al.,2003 ;Walker et al.,2003).Cependant la remédiation de divers éléments (As,Cu,Cs, Sr,U) par des cultures de plantes hyper-accumulatrices n'a pas encore été démontré(Chaney et al.,1997).Les plantes hyper-accumulatrices stockent en générale un élément spécifique(aucune plante accumulatrice de tous les éléments n'a été trouvée),ont une croissance lente et fournissent une faible biomasse (Cunningham et al.,1995),ce qui augmente les durées de traitement.
  
- Phytostabilisation : La plante réduit la mobilité et la disponibilité des polluants dans le sol, Elle maintient les métaux au niveau de la racine et de la rhizosphère.
- Rhizofiltration : Les racines absorbent les polluants présents dans les eaux usées.
- Phytovolatilisation : la plante transforme et relâche certains polluants, essentiellement organiques, sous forme volatile.
- Phytodégradation : est un processus consistant à utiliser les plantes en parallèle avec les microorganismes de la rhizosphère pour accélérer la dégradation des polluants xénobiotiques organiques ( pesticides, Hydrocarbures )présents dans le sol.

## 3-La phytodégradation des polluants organiques

Les plantes peuvent métaboliser de nombreuses molécules xénobiotiques toxiques dans leurs tissus : pesticides, hydrocarbures, composés halogénés. Mais elles peuvent aussi contribuer à la dégradation de ces composés organiques récalcitrants dans leur rhizosphère. Les composés

halogénés qui ont la capacité à pénétrer dans la plante sont dégradés à la fois dans les tissus (phytoréduction, phytooxydation et assimilation) et dans la rhizosphère (phytoréduction).



**Figure 04 : Schéma générale des mécanismes de la phytoremédiation**

**(D'après Andrews et al, p139).**

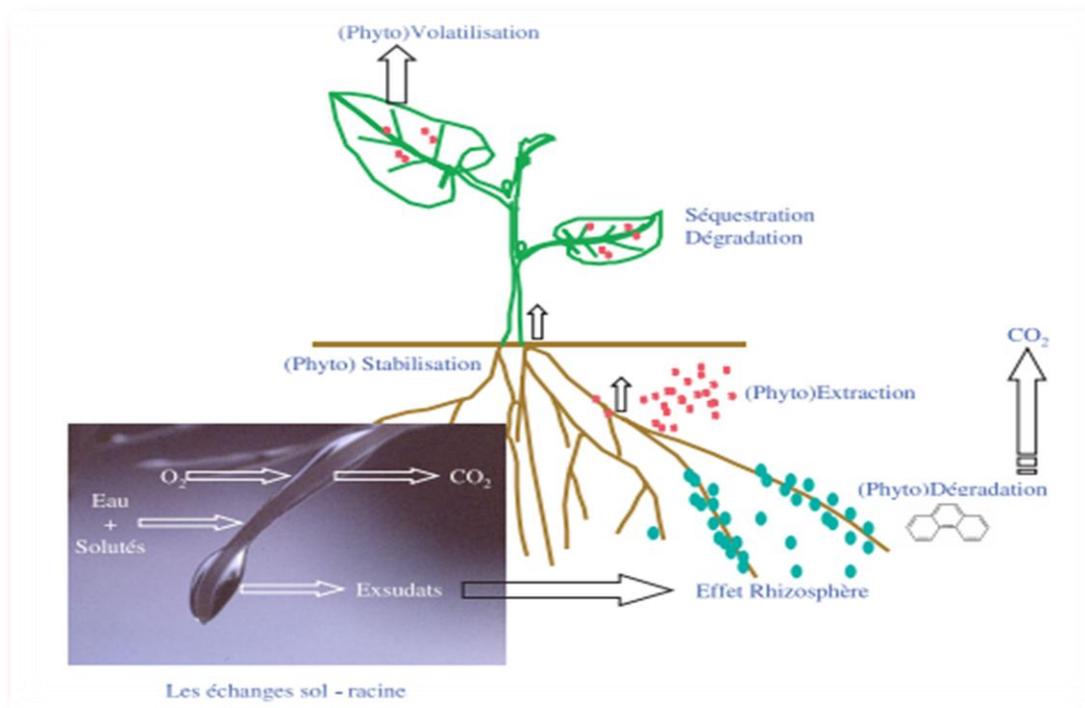
#### **4-Microflore tellurique (microorganismes de sol, germe de sol)**

La microflore tellurique représente le groupe fonctionnel des ingénieurs biochimistes et qui participe au cycle des macroéléments (N, P, S, C) et des oligo-éléments (Fe, Zn, B).

Ce groupe joue donc un rôle important dans la décomposition de la matière organique, l'humification, la structure du sol, la croissance des plantes (au sein de rhizosphère), mais aussi la détoxification et la biorémediation (Jerry et al. 2010).

## 5- La rhizosphère

Est l'environnement immédiat des racines, et bénéficie d'apports réguliers de composés organiques issus de celles-ci, appelés **exsudats**, représentant une très large gamme de molécules, du glucose aux polysaccharides. Utilisés par la microflore du sol comme source de carbone et d'énergie, ces exsudats induisent une augmentation importante du nombre de micro-organismes au voisinage de la racine. L'exsudation est concomitante de la croissance de la plante et représente une dérivation vers le sol de 5 à 20 % du carbone fixé par la photosynthèse, dépendant des facteurs environnementaux (température, lumière, humidité, contraintes physiques, statut nutritionnel, présence de micro-organismes). Des travaux déjà anciens montrent que l'introduction de composés facilement métabolisables dans le sol s'accompagne souvent d'une dégradation accrue de l'humus, amenant à la diminution du stock de matière organique stable du sol. Ce phénomène, appelé « priming effect », affecte-t-il aussi des molécules organiques xénobiotiques comme les hydrocarbures ? Enfin, des symbioses s'établissent entre les racines des plantes et les micro-organismes. Les mycorhizes par exemple, associations entre les champignons et les racines des



**Figure 05 : Actions des plantes sur les polluants et applications pour le traitement des sols pollués.**

## VI- La biorémediation

### 1-Définition

La biorémediation consiste soit à extraire des polluants par l'utilisation d'êtres vivants ayant une aptitude particulière à les bio-concentrer dans leur organisme soit, mieux encore, à faire dégrader les contaminants in situ afin de les neutraliser par des micro-organismes et parfois par des plantes supérieures. Ainsi, des bactéries comme *Pseudomonas putider* ou des champignons comme *Phanerochaeta chrysosporium* peuvent dégrader les HAP et même des PCB. L'efficacité de la bioremediation est conditionnée par la texture de sol, elle est plus facile à mettre en œuvre sur des sols légers ou riches en sable, donc très perméables. Que sur des sols argileux. Comme c'est processus aérobie, elle implique une teneur en eau des qui n'excède pas 60 à 70% de leur capacité de rétention afin que l'aération soit permise par la présence d'air dans les lacunes.

Quelques plantes sont capables de détruire, par leurs sécrétions racinaires, certains polluants organiques des sols.

### 2-La phytodécontamination

Les procédés de bioremédiation consistant à effectuer une dépollution des sols ou des eaux par recours à des végétaux supérieures capables de dégrader les polluants, en particulier par l'effet rhizosphère, ou de les extraire des sols en les accumulant dans leur biomasse.

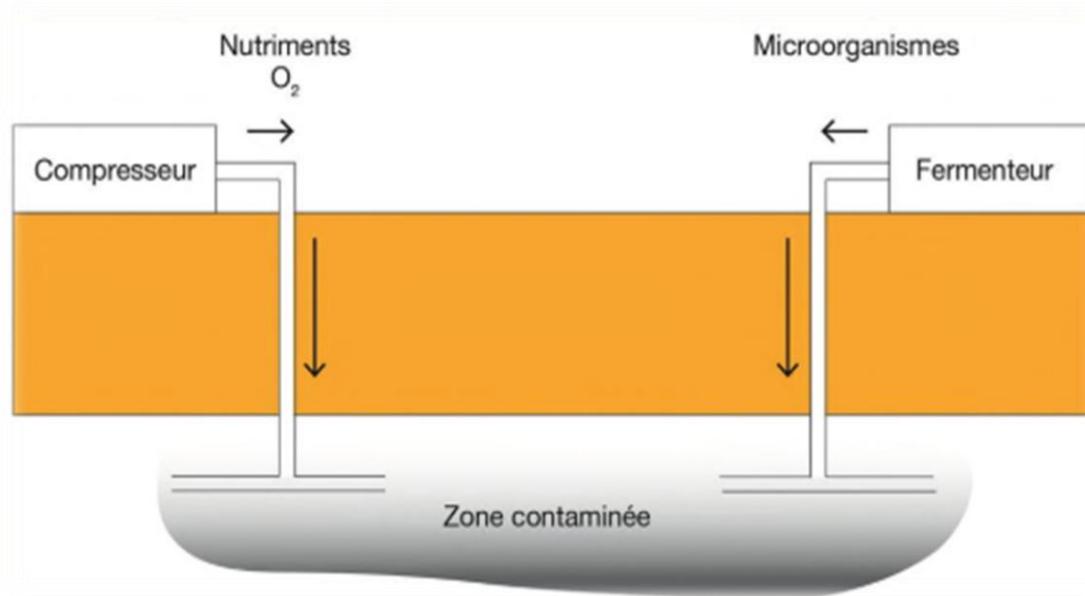
### 3-Les procédés de biorémediation

La biorémediation propose deux approches, souvent complémentaires, la bio-stimulation et la bioaugmentation. Ce sont des techniques biologiques in situ de traitement des écosystèmes contaminés, favorisant la biodégradation des contaminants organiques au moyen de microorganismes endogènes (présent dans le milieu) ou exogènes (étrangers au milieu).

**1-La biostimulation :** Consiste à favoriser le rendement de cette biodégradation en injectant, dans le milieu contaminé, le nutriment nécessaire à une forte croissance bactérienne et/ou à une production in situ de biopolymères, comme les biosurfactants. Ceux-ci peuvent faciliter

l'accès des microorganismes aux contaminants. C'est l'une des techniques les plus utilisées compte tenu de la modicité de son coût de mise en œuvre.

**2 -La bioaugmentation :** implique-t-elle, un ensemencement bactérien avec des souches sélectionnées, ou génétiquement modifiées, en vue de dégrader un contaminant spécifique.



**Figure 06 : procédés de biorémediation.**

## V- Les coûts de la phytoremédiation

On peut envisager une rémédiation des sols par des moyens physiques, chimiques ou biologiques.

L'incinération et l'extraction chimique sont très coûteuses et conduisent souvent à la des structuration du sol. Au contraire, La phytoremédiation en utilisant des plantes hyper accumulatrices qui stockent les polluants dans leurs organes et d'un autre côté , La bioremediation qui permet aussi de récupérer les sols traités, au moins pour certains applications. Globalement, ses couts sont en principe moins élevés. Elle consiste à mettre à profit, pour le traitement des sites pollués, des activités biologiques (Ce qui répugne souvent aux chimistes et aux ingénieurs).en les stimulants, en les améliorant, voire en les modifiant. Elle est une solution alternative qui permet en général de récupérer les sols traités, au moins pour certains applications.

Elle présente aussi plusieurs avantages d'ordres financiers et sociaux, ou en matière d'aménagement du territoire. Dans un premier temps, la dépollution par phytoremédiation coûte moins cher que celle ayant recours aux techniques classiques et traditionnelles (telles que l'incinération ou le lessivage des sols) (Verdin, 2004).

Les coûts seraient de 100 à 10 000 fois moins élevés. Ainsi les techniques traditionnelles coûteraient en moyenne entre 50 \$ et 500 \$ par tonne de terre traitée, certaines pouvant même excéder les 1000 \$ (Cunningham et Ow, 1996). Aux États-Unis par exemple, la commission de l'énergie atomique estime que le coût de dépollution par phytoremédiation pour un demi-hectare de terre contaminée au plomb sur une profondeur de 50 centimètres, se situe entre 60 000 \$, soit 43 400 € environ, et 100 000 \$, tandis que l'excavation et le landfilling du même volume s'évalueraient entre 400 000 \$ et 700 000 \$.

## IV- Petit pois

### 1. Historique de petit pois

Le petit pois Théophraste, trois siècles avant notre ère, dans son livre intitulé "recherches sur les plantes" a décrit plusieurs espèces de la famille actuelle des légumineuses et notamment le pois (Davies et al, 1985). Il est consommé depuis environs 5000 ans avant Jésus Christ, et était déjà très apprécié dans les civilisations anciennes (Smart, 1990). Les origines primaires du pois se situent vraisemblablement dans le sud Ouest d'Asie, Abyssinie en Afghanistan et les régions avoisinantes (Zohary et Hopf, 2002), la région méditerranéenne constitue un centre secondaire. A partir de ces centres, le pois se serait dispersé dans le reste de l'Europe et de l'Asie (Kay, 1979 ; Makasheva, 1985 ; Coussin 1997). Basé sur la diversité génétique, quatre centres d'origines ; l'Asie centrale, le Proche orient, l'Abyssinie et la Méditerranée ont été identifiés (Gritton, 1980). De nombreux botanistes ont décrit différentes formes sauvages qui ne diffèrent que par quelques caractères morphologiques. Parfois, ces types ont constitué des espèces différentes, dont la dénomination rappelle fréquemment le lieu d'origine. Mais le plus souvent, ils sont considérés comme appartenant à des sous espèces de *Pisum sativum* : *Pisum sativum arvense* (Linné), *elatius* (Bieb Stev), *abyssinium* (Braum), *jomaradi* (Schrank), *asiaticum*, *humile transcaucasicum*, *aethiopicum* et *unbellatum*. Tous ces groupes peuvent être croisés entre eux, il est donc logique de les considérer comme faisant partie de la même

espèce. Par contre, les croisements avec les genres voisins : *Lathyrus*, *Vicia* et *Lentis* n'ont jamais pu être obtenus (Coussin, 1996).



**Figure 07 : Le pois cultivé « *Pisum sativum L.* « expérience de Gregor Mendel.**

## **2. Origine et classification botanique « *Pisum sativum L.* «**

Le petit pois (*Pisum sativum L.*) est une plante herbacée annuelle qui appartient à la sous-famille de *papilionoideae* et à la famille des *Fabaceae*. On distingue plusieurs types de petit pois dont les plus importantes dans la région appartiennent à deux groupes : *Pisum sativum cv abyssinium* dont le plant est très grimpant et *P. sativum cv sativum* à une tige peu grimpante.

Le petit pois a son origine dans la région méditerranéenne et au moyen orient (Jusqu'au Tibet ).

**D'après Carl von Linné 1753, la classification botanique du pois est comme suit :**

Règne .....*Plantae*  
Sous règne.....*Tracheobiota*  
Division .....*Magnoliophyta* ([Angiospermes](#))  
Classe .....*Magnoliopsida*

Sous-classe .....*Rosidae*  
Ordre .....*Fabales*  
Famille .....*Fabaceae*  
Sous-famille.....*Faboideae*  
Tribu.....*Fabeae*  
Genre..... *Pisum*  
Espèce.....*Pisum sativum*

### **3. Aire de culture**

Le petit pois est cultivé surtout dans les régions des zones tempérées. La production est concentrée en Europe (France), en Asie (Chine et Inde) et en Amérique du Nord (Canada). En Afrique, il est produit surtout dans les pays aux RTA d'Afrique centrale et orientale.

### **4. Exigences écologiques**

Le petit pois a besoin d'un climat tempéré avec une humidité relativement haute mais pas excessive. Il peut être cultivé sur plusieurs types de sols, pourvu qu'ils soient bien drainés et aérés. Il ne supporte pas les marais.

### **5. Morphologie de la plante**

#### **1- Racines :**

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

## 2-Tige, Feuilles et ramifications

Le petit pois forme une tige herbacée angulaire ou cylindrique avec peu ou pas de ramifications. Le plant est plus ou moins grimpant suivant les types.

La Tige est constitué de plusieurs entre-nœuds creux, Souvent pourpres à la base et avec des stipules larges. Il forme des feuilles alternantes avec 1-3 paire de folioles et un long pétiole creux. Les folioles opposées ou non sont rhomboïdes, asymétriques et pourvues de courts pétioles.

## 3-Inflorescences et fructification

Les inflorescences du petit pois sont des racèmes axillaires pourvus de 1-2 fleurs blanches ou pourpres avec un pédoncule cylindrique et creux, plus ou mois long suivant les types (1.5-12 cm de long).La fleur de type papilionacé comprend 5 pétale , 5 sépale et 10 étamines.

La fécondation se fait par autopollinisation.

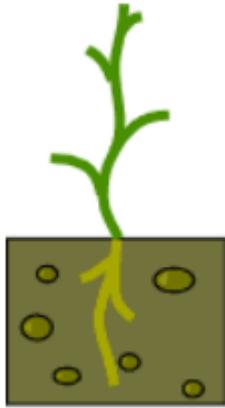
## 4-Le fruit

Le fruit est une gousse à deux valves et d'une longueur de 4.5-8 cm. Les gousses contiennent en moyenne 2 à 5 graines. Les graines sont de couleur verte ou crème, brune, orange brune ou violette.

## 5-Le système racinaire

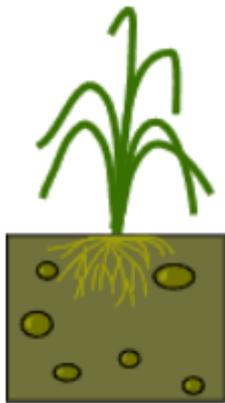
L'ensemble des racines d'une plante s'organise selon trois types de systèmes principaux et naturellement de tous les intermédiaires possibles :

- **Le système pivotant.** C'est principalement le cas chez les Dicotylédones et les Gymnospermes. Il existe une racine principale à gravi-tropisme positif et des racines secondaires latérales.



Racine pivotante

- **Le système fasciculaire.** C'est principalement le cas chez de nombreuses Monocotylédones. les nombreuses racines ne dérivent pas d'une racine principale mais ont une origine commune. Elles croissent parallèlement en faisceau.



Racine fasciculée

- **Les racines adventives.** Dans certains cas les racines peuvent apparaître sur des tiges, souvent au niveau des nœuds.

## 6- Le système racinaire chez le petit pois

Le système racinaire chez *Pisum sativum* est indiqué comme un système pivotant, les suivantes photos représentent les différentes étapes (1,2 , 3,4) de l'apparition de ce système .

**Figure 08 : le développement (étape 1, 2, 3, 4) de Système pivotant chez le pois.**



**Étape 1 : La racicule se développe en premier et constitue la racine principale.**



**Etape 2 : Elle croit pendant que la gemmule donne la tige feuillée.**



**Etape 3 : La racine principale grandit et des racines secondaires se développent latéralement.**



**Etape 4 : Après quelques temps, la racine principale est entourée d'une abondance de racines latérales.**

## **IIV – Maïs « *Zea mays* »**

### **1- Origine et distribution de maïs**

Selon Vanden put (1981), le maïs est originaire de l'Amérique méridionale : lors de la découverte du nouveau monde, de vastes cultures de maïs furent signalées au Pérou et au Mexique. Cependant l'origine botanique n'est pas clairement établie et on n'en connaît pas d'espèces sauvages. Son hybridation facile avec le théosinte faisait croire que le maïs descendait du Téosite. Cette hypothèse est actuellement écartée.

De nombreuses théories ont été émises à propos de l'évolution qui a conduit au maïs :

- celle qui repose sur le Théosite dont le maïs actuel serait issu ; cette théorie est considérée comme la plus probable ;
- celle qui imagine que le maïs, le Téosite et diverses andropogonées proviennent d'un ancêtre commun aujourd'hui disparu ;

- d'autres, enfin qui verraient une origine géographique plus étendue à l'ancêtre du maïs. Celui-ci pourrait provenir des formes primitives du sorgho (Rouanet, 1984).

En définitive, l'origine du maïs reste encore imprécise, même si l'on accorde pour penser que son évolution vers les formes modernes s'est essentiellement déroulée en Afrique centrale (Rouanet, 1984).

Après avoir été portée en Espagne, la culture du maïs s'est répandue dans toute l'Europe Méridionale. Elle a été introduite par la suite en Afrique et en Asie (Vandenput, 1981). Le maïs s'est propagé rapidement à travers le monde grâce aux navigateurs du XVIème et du XVIIème siècle. Le maïs est actuellement la principale céréale cultivée à l'Est de la R.D.C. (FAO, 2001).



**Figure 09 : photo représente des plantules de Maïs ( *Zea mays* ).**

### **2- Description systématique et morphologie**

Le maïs du nom scientifique *Zea mays*, est une plante monocotylédone diploïde annuelle ( $2n=20$ ) appartenant à la famille des *poaceae* ou *graminées* .Il existe de nombreuses variétés de maïs classées en sept types suivant les caractéristiques des grains, cette classification est

essentiellement agronomique. Le maïs est une graminée annuelle à tige pleine contrairement aux autres graminées. La tige unique est de gros diamètre est pleine, lignifiée et formée de plusieurs entrenœuds, d'une vingtaine de centimètres, séparés par autant de nœuds. Comme d'autres graminées, le pied de maïs est capable de tallage. (ANONYME 2014).

Le maïs (*Zea mays*) est une plante annuelle herbacée appartenant à la famille des *graminées*, à la sous-famille des *Panicoidées*. Son système racinaire est du type fasciculé. Les feuilles sont alternes et disposées en deux lignes opposées. La tige, de 3 à 4 cm de diamètre, peut atteindre, une hauteur moyenne de 1 à 3,5 m (variant de 1 à 6 m). Le maïs est une plante monoïque et possède des inflorescences mâles et femelles séparées sur le même pied. Bien que le maïs soit auto-fertile, le caractère monoïque des plantes et sa protandrie assurent une pollinisation croisée par le vent, de l'ordre de 90 à 95 %.

L'agrette ou l'inflorescence male est une panicule terminale qui s'étend à partir des feuilles engainantes à la pointe de la tige. Elle consiste en un certain nombre de branches disposées en spirale autour de l'axe principale. L'inflorescence femelle, appelée épi, se développe sur une courte branche latérale qui émerge de l'aisselle d'une des feuilles du milieu de la tige. Normalement seul un ou deux bourgeons se transforment en épi; l'axe centrale de l'épi, appelé rachis ou rafle porte des épillets en pair, pourvus, chacun, d'une fleur fertile en rangées longitudinales. Le fruit à une seule graine est appelé caryopse grain (Ristanovic 2001).

### **3- ECOLOGIE**

#### **3.1. Facteur climatique**

La température optimum pour le cycle végétatif du maïs se situe entre 25<sup>0</sup>C et 30<sup>0</sup>C. Entre ces limites thermiques, le degré de développement de beaucoup de céréales répond à la température moyenne d'une façon linéaire. La somme des températures moyennes observées dans un milieu donné entre le levé et la floraison mâle est une caractéristique variétale.

Le maïs est une céréale exigeante, très sensible aux variations de fertilité du sol. Elle a des besoins énormes en Azote et en Phosphore.

Le pH doit se situer entre 5,5 et 7,0 (ANNONYME, 1984).

C'est une espèce exigeante en eau et en matière minérale. Le maïs connaît une période critique, commençant dès la montaison allant jusqu'au stade critique pendant lequel le manque d'eau fera baisser fortement le rendement (West PHAL, 1985). L'optimum étant de 450 à 800mm avec un temps chaud et clair.

### **3.2. Sol**

Le maïs préfère un sol profond, bien meuble avec un bon drainage et une structure sablo-limoneuse riche en élément ayant un pH 6 à 7.

Le maïs est moins tolérant à une salinité du sol par rapport à d'autres céréales (West PHAL, 1985).

## **4- Conduite culturale**

Il faut choisir les semences saines sur des épis bien remplis, garnis des gros grains. Il faut également prélever les grains du centre de l'épi car ils ont une germination rapide et régulière, c'est le choix de semence. Concernant la plantation en culture pure, le semis se fait en poquet à raison de 2 à 3 grains par poquet avec application d'engrais.

La profondeur de semis est de 3 à 5cm, l'écartement est de 80cm×50cm pour le semis avec épandage d'engrais ; 100×100cm pour le semis sans épandage d'engrais (ANNONYME, 1984).

Le maïs est une plante qui répond mieux à une fumure riche en azote et en phosphate. Elle n'exige pas d'entretien particulière en dehors de sarclage et buttage pour augmenter l'assiette nourricière. Le moment de la récolte est proche lorsque les soies autour de l'épi se flétrissent et noircissent.

### IIIIV- *Lolium perenne* L., 1753

#### 1- Classification APG III

Clade : *Spermatophyta*

Clade : *Angiospermes*

Clade : *Monocotylédones*

Clade : *Commelinidées*

Ordre : *Poales*

Famille : *Poaceae*

Genre : *Lolium*

Espece : *Lolium perenne*

#### 2- Ecologie

Espèce des prairies mésophiles, qui se rencontre, en réalité, dans de très nombreux habitats. Prairies artificielles, prairies mésotrophes à eutrophies de fauche, lieux piétinés à plantain, gazons artificiels (terrains de sports, jardins, talus de routes...), friches alluviales nitrophiles, digues d'étangs, bermes, jachères, friches, potagers, trottoirs.

#### 3- Origine

Circumboréale.

4- **Floraison** : Mai - Octobre.



**Figure 10** : photo de *Lolium perenne* L.

## **XI - *Festuca arundinacea***

### **1- Classification APG III**

Clade : *Spermatophyta*

Clade : *Angiospermes*

Clade : *Monocotylédones*

Clade : *Commelinidées*

Ordre : *Poales*

Famille : *Poaceae*

Genre : *Festuca*

Espèce : *Festuca arundinacea*



**Figure 11 : photo de *Festuca arundinacea*.**

## **2- Description**

La *Festuca arundinacea* est une espèce herbacée cespitose qui peut atteindre une taille de 80 à 170 cm.

Elle possède un système racinaire très profond avec des rhizomes rares et courts et aucun stolon. Les tiges sont dressées, avec des flancs de feuilles plutôt aplatis, de forme étroite et lancéolée avec un port rigide et rugueux au toucher en raison de la présence d'écaillés siliceuses, avec des nervures médianes accentuées, des ligules courtes, des ligules fortes et denticulées.

L'inflorescence est un panicule muni d'épillets avec 3-10 fleurs ; les graines sont assez petites (le poids de 1 000 graines est de 2,5 g) avec un rachis de section circulaire.

## **3- Répartition géographique et habitat**

*Festuca arundinacea* est une graminacée d'origine incertaine car on la trouve spontanément dans une vaste gamme entre l'Europe, l'Asie et l'Afrique du Nord.

Cette espèce a été introduite en culture en Amérique du Nord et du Sud, puis en Europe et, plus récemment, également en Italie.

Chapitre II :

Des essais  
scientifiques

sur

la phytoremédiation  
des HAP.

## I. La phytoremédiation par *Zea mays*

Le pétrole brut léger a été obtenu à partir de raffinerie situé à Hassi Messaoud, ville d'Ouargla, Algérie (Baoune et al, 2018). Les HAP utilisés dans cette étude étaient Le phénanthrène, l'anthracène et le pyrène (pureté > 99%, qualité analytique).

La souche bactérienne a été cultivée dans l'un des milieux suivants, qui ont tous été stérilisés par autoclavage à 121 ° C pendant 20 min :

- Milieu ISP2-agar contenant (en g/L) extrait de malt, 10; extrait de levure, 4; glucose, 4; de la gélose, 20 (pH 7,0), a été utilisée pour la maintenance microbienne.
- Bouillon de soja tryptique (TSB) contenant (en g/L) tryptone, 15; soja peptone, 3; NaCl, 5; K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, 2,5; glucose 2,5, a été utilisé pour préparer l'inoculum bactérien.
- Milieu liquide minimal (MM) contenant (en g/L) L-asparagine, 0,5; K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, 0,5; MgSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O, 0,2; FeSO<sub>4</sub> · H<sub>2</sub>O, 0,01, a été utilisé pour les tests de biodégradation.

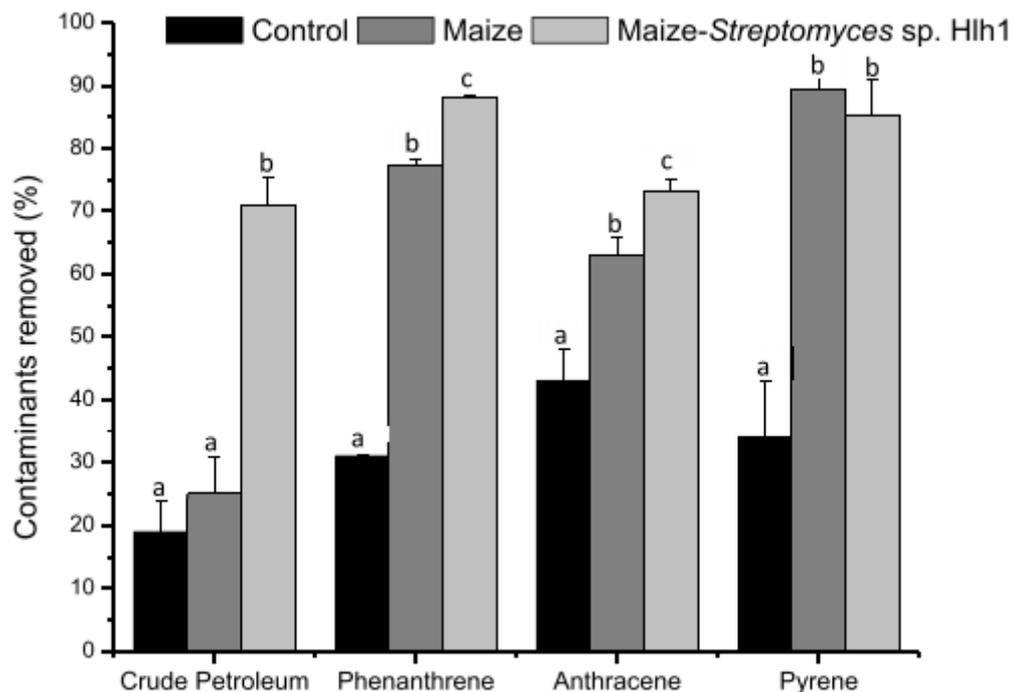
Un sol limoneux modèle a été collecté dans une zone urbaine exempte de contamination à 5 - 15 cm de profondeur.

La zone de rhizosphère de chaque graine germée (trois par pot) a été inoculée avec une suspension cellulaire de *Streptomyces* sp. Hlh1 (concentration finale de 1 g /kg poids humide), qui avait été préparé comme mentionné précédemment. Les plantes non inoculées et les sols non plantés ont été utilisés comme témoins dans les systèmes contaminés et non contaminés. Trois répliques ont été préparées pour chaque traitement. Les pots ont été incubés dans une pièce à température contrôlée (25 ° C, 16: 8 lumière: obscurité, 65% d'humidité relative) pendant 15 jours. Les plantes ont été arrosées avec de l'eau stérile en cas de besoin. À la fin de l'expérience, des échantillons de sol ont été prélevés pour déterminer le pétrole résiduel et les HAP purs.

L'analyse statistique a été réalisée à l'aide du logiciel R, version 3.5.3. Toutes les données rapportées dans cette étude étaient les valeurs moyennes de trois répliques indépendantes. Les données ont été évaluées statistiquement par une analyse à sens unique de la variance (ANOVA), et significativement Les écarts entre les valeurs moyennes ont été déterminés par le post-test de Fisher avec un niveau de

probabilité de  $p < 0,05$ . La normalité des données a été vérifiée en utilisant le test Shapiro.

### 1-La capacité de maïs a éliminée les hydrocarbures pétroliers en présence et absence d'une bactérie



**Figure 12 : Dissipation du pétrole brut et des HAP purs du sol artificiellement contaminé après 14 jours de traitement (H. Baoune et al, 2019).**

La figure 09 représente les pourcentages des différents contaminants éliminés d'un sol artificiellement contaminé par le pétrole brute et des HAP purs.les pourcentages de pétrole éliminées pour le contrôle sont :  $19\% \pm 5$  ;  $31\% \pm 0$  ;  $43\% \pm 5$  ;  $35\% \pm 10$  selon les contaminants : Pétrole brut, phénanthrène, Anthracène, Pyrène, respectivement.

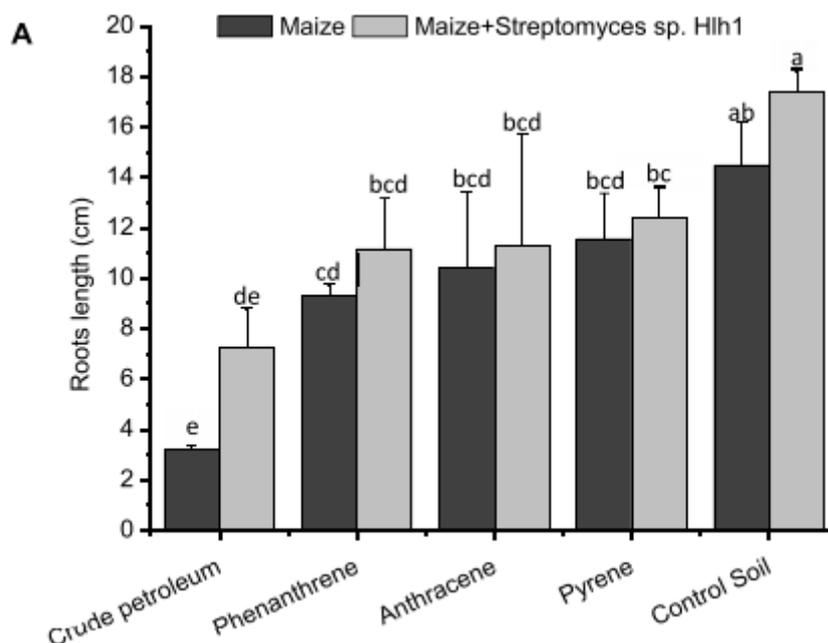
Les pourcentages des contaminants éliminées en présence de maïs sont :  $25\% \pm 5$  ;  $77.5\% \pm 1$  ;  $64\% \pm 4$  ;  $90\% \pm 3$  selon les contaminants : Pétrole brut, phénanthrène, Anthracène, Pyrène. Celle des contaminants éliminées en présence de maïs plus la

bactérie *Streptomyces* sp sont : 70 %  $\pm$ 5 ; 90 %  $\pm$ 0; 72.5%  $\pm$ 2 ; 85 %  $\pm$ 7 selon les contaminants : Pétrole brut, phénanthrène, Anthracène, Pyrène.

### 2-Effet des hydrocarbures pétroliers sur le développement des racines de maïs en présence et absence d'une bactérie tellurique

La figure représente l'effet des différents contaminants organiques (Hydrocarbures) sur la longueur des racines de maïs, en présence et absence de la bactérie *Streptomyces* sp. La longueur des racines de maïs est de : 3 $\pm$ 0.1 , 9.2 $\pm$  0.2 , 10.2  $\pm$ 2,2 , 11.9 $\pm$ 2 ,15 $\pm$ 0.9 selon les contaminants : Pétrole brut , phénanthrène , Anthracène, Pyrène , et sol témoin respectivement .et leur effet sur le maïs en présence de streptomyces : 9.1 $\pm$ 1.4 ,11.1 $\pm$ 2 , 11.1 $\pm$ 4 ,12.5 $\pm$ 1 , 17.5 $\pm$ 0.8 selon les contaminants : Pétrole brut , phénanthrène , Anthracène, Pyrène ,et sol témoin respectivement .

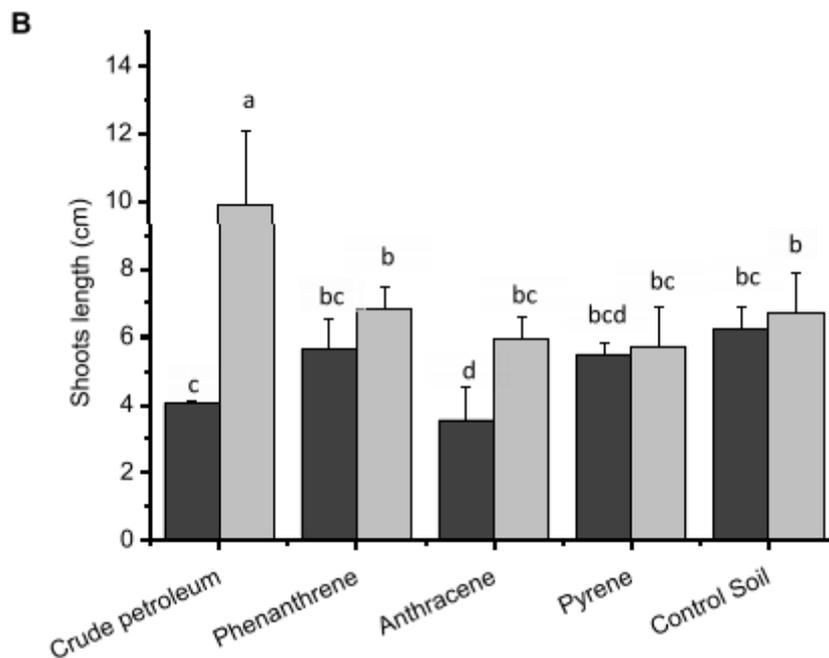
Ces résultats nous montrent que la présence des HAP n'affecte pas la croissance de longueur des racines de maïs, elle est toujours en développement significative et sont plus développé en présence de streptomyces sp.



**Figure 13: Développement de longueur des racines de *Zea mays* cultivés sur des sols Artificiellement contaminés par des hydrocarbures pétroliers (H. Baoune et al, 2019)**

### 3-L'effet des hydrocarbures pétroliers sur la longueur des plantules de maïs en présence et absence d'une bactérie tellurique

Les résultats de l'effet des hydrocarbures pétroliers sur la longueur des plantules de maïs en présence/Absence de streptomyces sp est représenté sur la figure 11. les longueurs des plantules sont : 4 cm , 5.5 cm $\pm$ 1 , 3.5 cm  $\pm$ 1 , 5.5cm  $\pm$ 0.5 , 6.5 $\pm$ 0.8 selon les contaminants : Pétrole brut , phénanthrène , Anthracène, Pyrène ,et sol témoin respectivement .et leur effet sur le maïs en présence de streptomyces :9.9 cm $\pm$ 0.1 , 7.1 $\pm$ 1 , 6cm $\pm$ 1 , 5.9cm $\pm$ 0.8 ,9cm $\pm$ 0.8 selon les contaminants : Pétrole brut , phénanthrène , Anthracène, Pyrène ,et sol témoin respectivement .

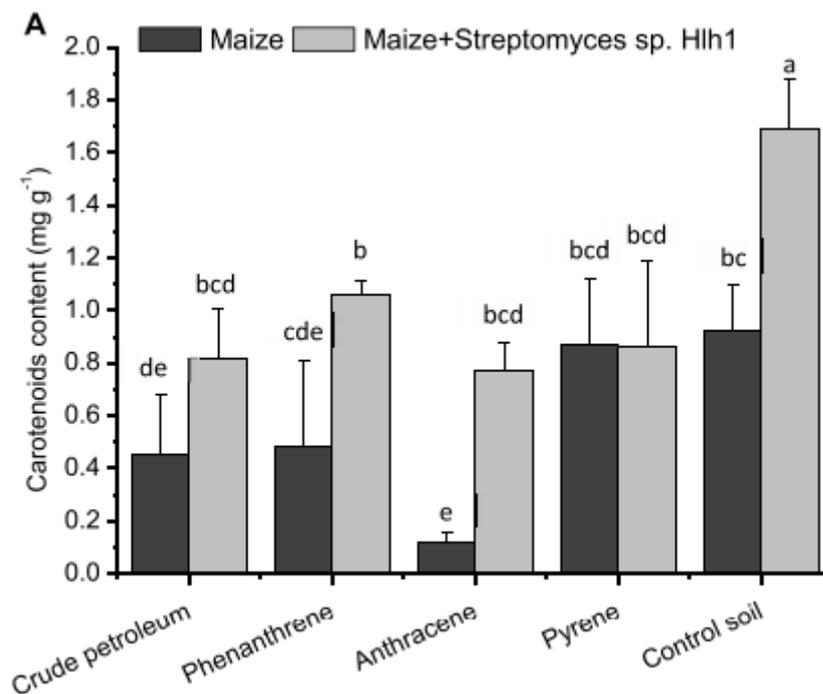


**Figure 14: Développement de longueur des plantules de Zea mays cultivés sur des sols artificiellement contaminés par des hydrocarbures pétroliers (H. Baoune et al, 2019).**

### 4-Effet des hydrocarbures pétroliers sur la teneur des caroténoïdes de maïs, en présence et absence d'une bactérie tellurique

La teneur en caroténoïdes de l'extrait végétal a été calculée selon la formule donnée par Kirk et Allen (1965). Les résultats obtenus selon l'effet des hydrocarbures pétroliers sur la

teneur en caroténoïdes sont représentées sur la figure 12. La teneur de caroténoïdes en absence de streptomyces sp est : 0.45 mg/g  $\pm$ 0.21, 0.48mg/g $\pm$ 0.3, 0.125 $\pm$ 0.25, 0.9 mg/g $\pm$ 0.22,0.95mg/g $\pm$ 0.18. selon les contaminants : Pétrole brut , phénanthrène , Anthracène, Pyrène ,et sol témoin respectivement .et leur effet sur le maïs en présence de streptomyces :0.8mg/g  $\pm$ 0.2 , 1.5mg/g  $\pm$ 0.5 , 0.8mg/g  $\pm$ 0.1 , 0.85mg/g $\pm$ 0.3 , 1.7mg/g $\pm$ 0.2 selon les contaminants : Pétrole brut , phénanthrène , Anthracène, Pyrène ,et sol témoin respectivement .

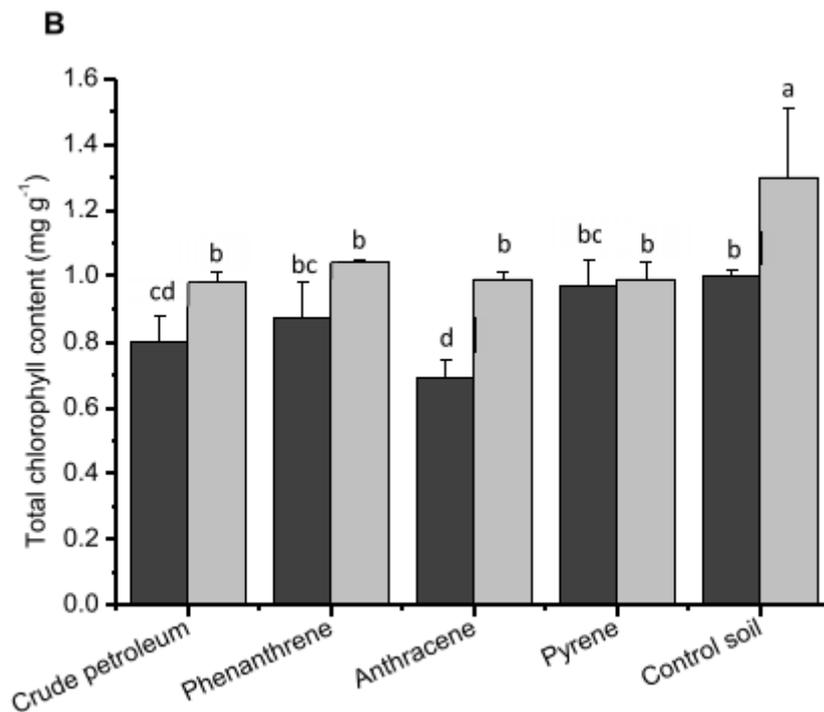


**Figure 15: Teneur en caroténoïdes de *Zea mays* cultivés sur des sols artificiellement contaminés par des hydrocarbures pétroliers (H. Baoune et al, 2019).**

### **5-Effet des hydrocarbures pétroliers sur la teneur en chlorophylle totale de maïs, en présence et absence d'une bactérie tellurique**

La teneur en chlorophylle a été calculée selon la formule de Arnon (1949). La figure 13 représente la teneur en chlorophylle totale de maïs (Présence/ Absence de streptomyces sp

) cultivés sur des sols contaminés par les hydrocarbures pétroliers .la teneur en chlorophylle pour maïs en absence de la bactérie sont :  $0.8\pm 0.2$  mg/g ;  $0.9\pm 0.15$  mg/g ;  $0.7\pm 0.1$ mg/g ;  $0.99\pm 0.1$  mg/g ; respectivement selon les contaminants pétrole brute , Phénanthrène, anthracène, Pyrene.et  $1\pm 0.02$  mg/g pour le sol témoin. Celle de maïs en présence de streptomycetes sp sont :  $0.99\pm 0.05$  mg/g ;  $1.05\pm 0$ mg/g ;  $1\pm 0.01$ mg/g ;  $1\pm 0.08$ mg/g respectivement selon les contaminants pétrole brute, Phénanthrène, anthracène, Pyrène et  $1.3\pm 0.2$  mg/g pour le sol témoin.



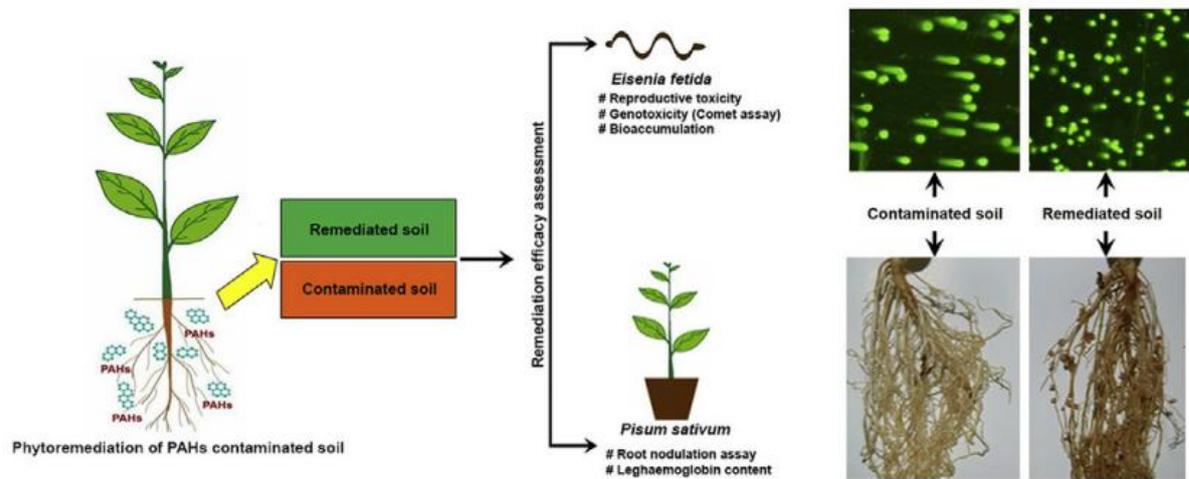
**Figure 16: Teneur en totale chlorophylle de *Zea mays* cultivés sur des sols artificiellement contaminés par des hydrocarbures pétroliers (H. Baoune et al, 2019).**

### **6-Effet des HAP sur les racines latérales en présence de faune tellurique**

La figure 14 représente un résumé graphique de l'effet des HAP sur les racines de pois avant et après la phytoremédiation d'un sol contaminé, et en présence d'*Eisenia fétida* (Ver du fumier).

L'aspect phénotypique des racines montre la différenciation de la couleur des racines, avant la remédiation c'était claire et après la remédiation devient sombre.

Le nombre des racines latérales est élevée avant la remédiation , puis on observe une réduction de leur nombre avec l'apparition des nodules ( méthode d'adaptation en présence de contaminant ) après la remédiation.



**Figure 17 : Résumé graphique représente l'effet des HAP sur les racines de pois avant et après la remédiation de sol (A.K. Sivaram et al, 2019).**

## II. La phytoremédiation par *Pisum sativum*

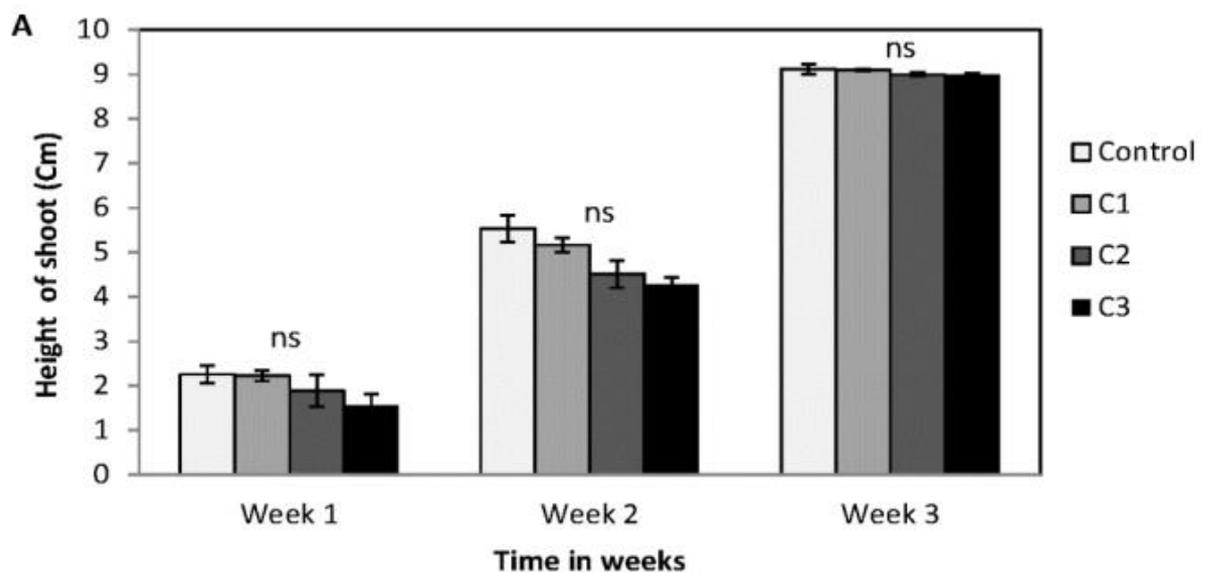
Naphtalène a été fourni par le Centre de Recherche et Développement de Sonatrach, (CRD, Algérie). Trois concentrations de naphtalène sont choisies: faible (0,5 mg), moyenne (25 mg) et élevée (100 mg).

Graines de pois (*Pisum sativum* L.) ont été stérilisés en surface avec 0,1% d'hypochlorite de sodium (NaClO) pendant 10 minutes, puis rincés abondamment à l'eau. Le traitement est effectué par trempage des graines pendant 3 heures dans de l'eau distillée pour le contrôle et dans des solutions de naphtalène avec une concentration appropriée pour le traitement. Les graines ont germé dans des pots expérimentaux contenant 50 g de terre (2 graines par pot). Les plantes ont été arrosées

une fois avec 50 ml de différentes concentrations de naphthalène. Les contrôles ont été irrigués avec 50 ml d'eau. Dès le deuxième jour, plantules (témoins et traitées) cultivées en serre sous 16 h de lumière / 8 h d'obscurité, avec des conditions de température 20 ° C (jour) / 16 ° C (nuit) [20]. Pendant la période de végétation, les plantes étaient régulièrement arrosées avec un volume d'eau approprié.

Toutes les données présentées sont les valeurs moyennes de six répliques de l'écart type (ET). L'analyse statistique a été réalisée par analyse ANOVA à un niveau de signification de 5%, 1% et 0,1%, en utilisant le progiciel statistique STATISTICA version 8.0.

### 1-Effet de naphthalène sur la hauteur des plantules



**Figure 18 (A) : L'effet de naphthalène sur la hauteur des plantules de pois (S. Agoun-Bahar et al, 2018).**

La longueur de la partie aérienne a été mesurée du niveau du sol au bourgeon apical pendant 21 jours. La figure 15 (A) représente l'effet des différentes concentrations de naphthalène sur la longueur (cm) des plantules de pois pendant 3 semaine de culture. Pendant la première semaine on remarque que les plantules cultivé dans un sol contaminé par C1(0,5 mg/kg) ont la même longueur 2,2 cm  $\pm$  0,1 que celle de témoin 2,2 cm  $\pm$  0.2 , ce qui signifie que cette polluant n'as provoqué aucun effet par cette dose. Puis à la concentration C2 (25 mg/kg) on observe une petite diminution de la longueur 1,9 cm  $\pm$  0.3

.cependant , pour la concentration C3 (100 mg/kg ) , une petite réduction est observé 1,7 cm  $\pm$  0.2 malgré que la concentration est très forte .

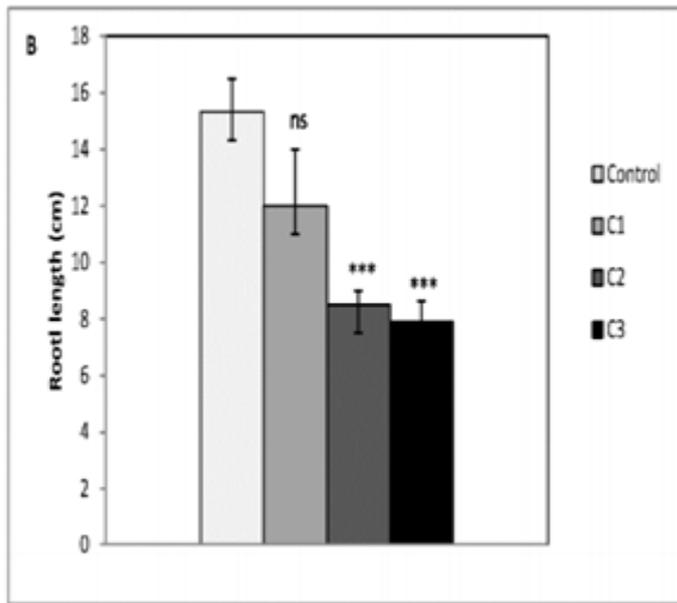
Pendant la deuxième semaine on observe des petites réduction de la longueur par rapport au témoin, mais une augmentation de croissance en comparant à la première semaine, Malgré que les concentrations C2 (25mg/kg) et C3 (100 mg/kg) sont très forte .suivant à la troisième semaine, ou la croissance des plantules est augmenté par rapport au deux semaines précédent , et la longueur témoin = la longueur par C1 =9cm , et longueur C2 égale la longueur de C3 (8,9 cm) , ce qui signifie que le pois tolère le naphthalène.

### **2-Effet de naphthalène sur la longueur des racines primaires**

La longueur des racines été déterminés après 21 jours. Chaque point de données représente la moyenne de trente plantes.

La figure 15(B) représente l'effet de naphthalène sur la longueur (Cm) des racines primaires de pois .Les résultats montre la longueur de la racine de pois témoin qui est de 15 cm $\pm$  2 , et les longueurs de pois d'essai qui sont affectées par différentes concentrations C1 , C2 ,C3 de naphthalène , Ou on observe une lente réduction de longueur par rapport le doublement élevée de concentration concentrations C1(0.5 mg/kg) C2 (50 fois doublé de C1) C3(200fois doublé de C1) .

Alors que longueur égale à 12 cm  $\pm$ 3 est affecté par C1, puis une diminution très significative suite à l'effet de C2 qui égale à 8,5 cm $\pm$  1.5, et une réduction très significative à cause de l'effet de C3 ou elle égale 8 cm $\pm$ 1 .Cette lente diminution de longueur démontre que le pois tolère le naphthalène et cette diminution est liée à sa méthode d'adaptation.



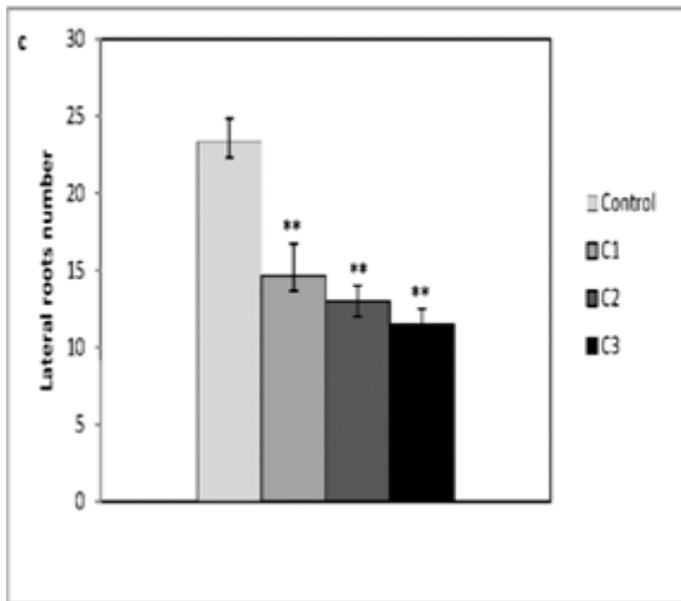
**Figure 18 (B) : Longueur des racines primaires de pois semis cultivés dans des sols témoins et pollués par le naphtalène à 0.5 (C1), 25 (C2) et 100 (C3) mg/kg de sol(S. Agoun-Bahar et al, 2018 ).**

### **3-Effet de naphtalène sur le nombre des racines latérales**

Le nombre de racines des branches été déterminés après 21 jours. Chaque point de données représente la moyenne de trente plantes.

La formation des racines latérales est perturbée en présence du polluant. Sous l'effet des différentes concentrations, le nombre des racines latérales diminue progressivement et atteint les valeurs suivantes :  $24 \pm 2,5$  ;  $15 \pm 4$  ;  $13 \pm 3$  ;  $12 \pm 2$  pour les concentrations : 0 ; 0,5 ; 25 ; 100 mg/kg de sol.

L'étude statistique a révélé que la diminution du nombre de racines secondaires est : moyennement significative ( $P < 0,01$ ) pour les différentes concentrations de naphtalène étudiées.



**Figure 18 (C) : Nombre des racines latérales de pois semis cultivés dans des sols témoins et pollués par le naphthalène à 0.5 (C1), 25 (C2) et 100 (C3) mg/kg de sol (S. Agoun-Bahar et al,2018 ).**

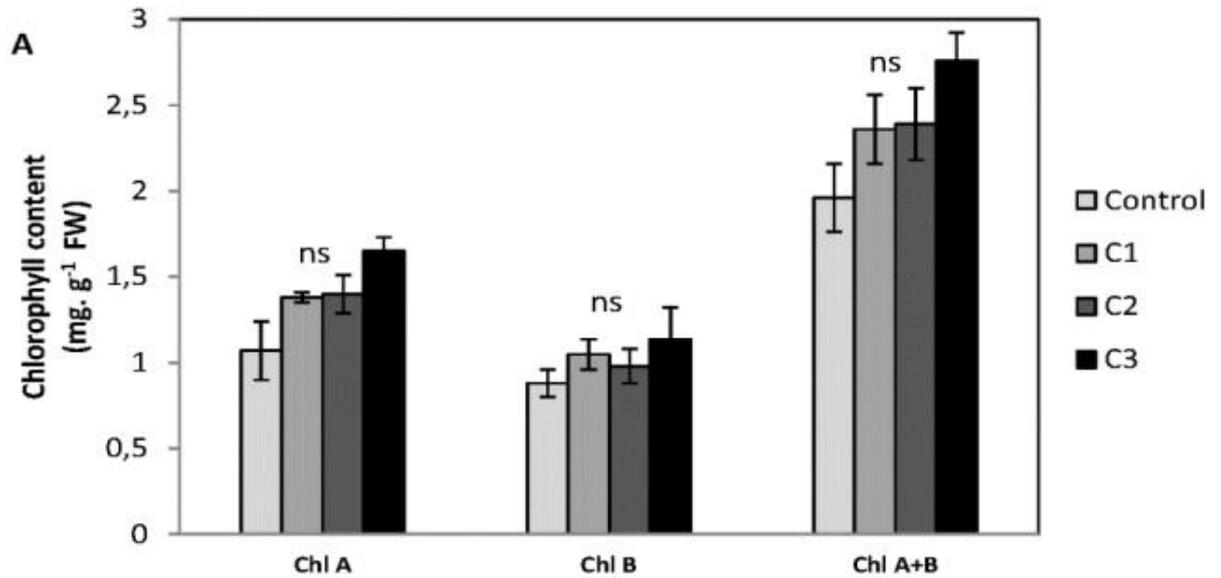
#### **4-Effet du naphthalène sur la teneur en pigments photosynthétiques**

La teneur en pigments photosynthétiques a été déterminée par absorbance spectrophotométrique comme recommandé par Lichtenthaler . L'absorbance des pigments présents dans le surnageant a été mesurée aux longueurs d'onde suivantes: 647 nm pour la chlorophylle a, 663 pour la chlorophylle b et 470 nm pour les caroténoïdes.

##### **a) Chlorophylles totales**

La teneur en chlorophylles totales (Chl A+B) passe de  $2 \pm 0,8$  mg/g de MVF pour les plantules témoins à  $2,3 \pm 0,8$  ;  $2,4 \pm 0,8$  ;  $2,75 \pm 0,3$  mg/g de MVF pour les plantules essais aux concentrations respectives : 0.5, 25, 100 mg/kg de sol.

L'étude statistique a révélé que cette augmentation n'est pas significative pour toutes les concentrations étudiées.



La figure 19 (A) : Effet de naphthalène sur la teneur en chlorophylle totale (mg/g MV), (S. Agoun-Bahar et al, 2018).

b) caroténoïdes

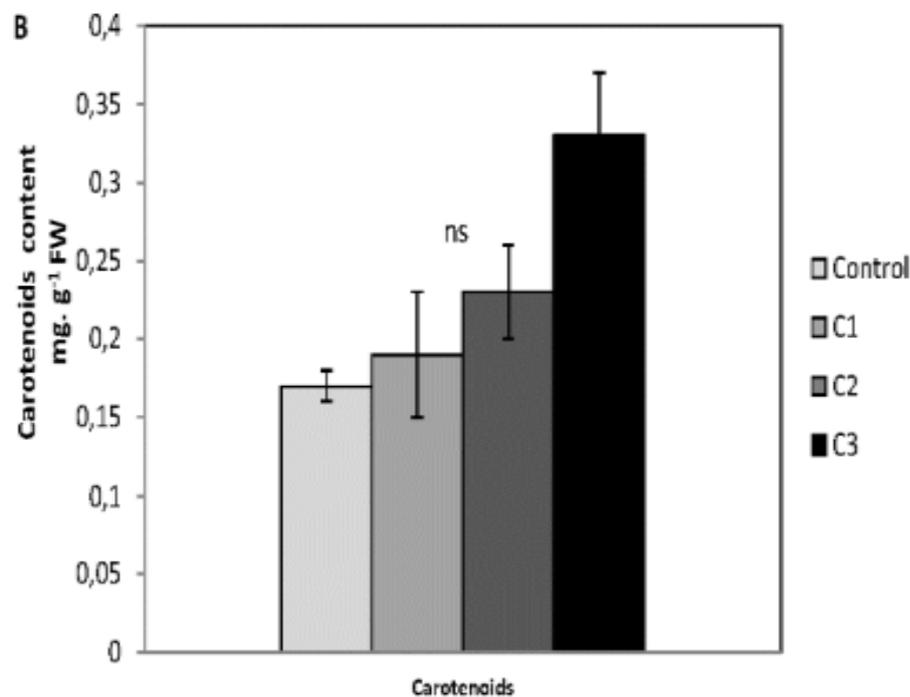
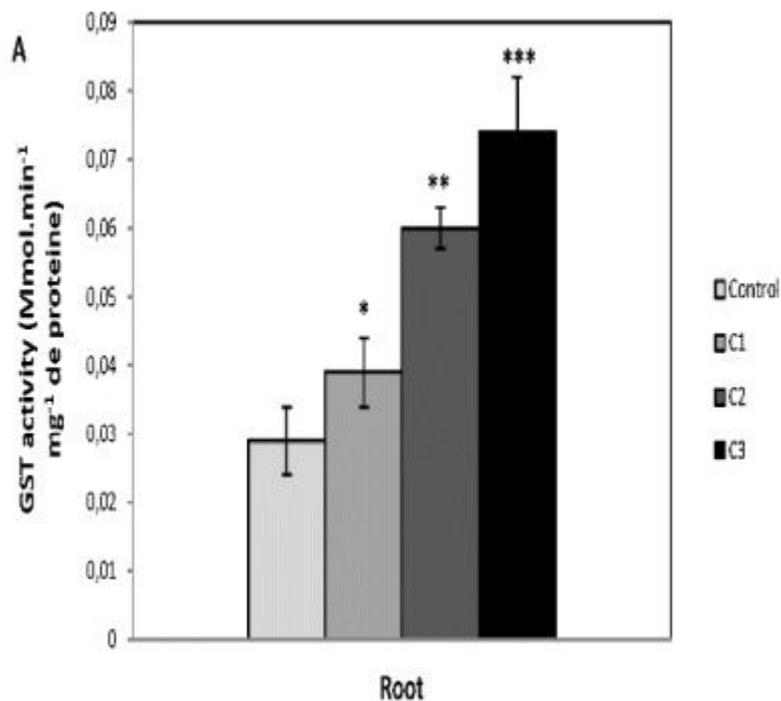


Figure 19 (B) : Teneur en caroténoïdes des plants de pois cultivés en contrôle Naphtalène pour sol contaminé à 0.5 (C1), 25 (C2) et 100 (C3) mg (S. Agoun-Bahar et al, 2018).

La teneur en caroténoïdes dans les feuilles des plantules témoins est de  $0.17 \pm 0.03$  mg/g de MVF. Cette valeur est plus élevée au niveau des feuilles des plantules traitées par les différentes concentrations de naphthalène: 0.5, 25, 100 mg/kg de sol, Qui atteignant respectivement les valeurs suivantes :  $0.19 \pm 0.08$ ;  $0.225 \pm 0.06$  ;  $0.33 \pm 0.04$  mg/g de MVF. L'étude statistique a montré que cette augmentation est non significative pour toutes les concentrations en naphthalène utilisées.

### 5-Effet du naphthalène sur l'activité glutathion S transférase

#### a) Racines



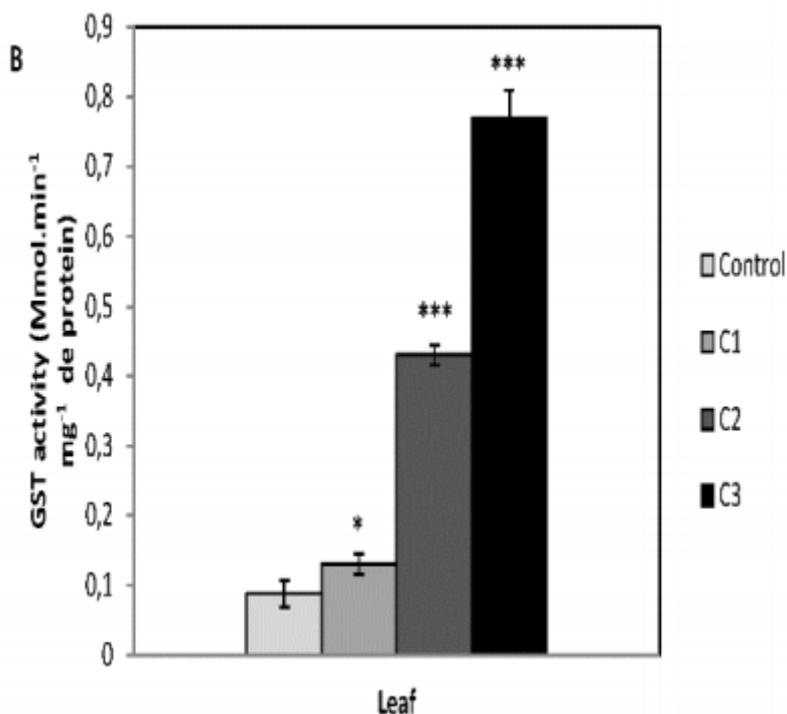
**Figure 20 (A) : Activité de la glutathion S-transférase dans la racine des plants de pois cultivés Dans les sols témoins et le naphthalène contaminé à 0.5 (C1), 25 (C2) et 100 (C3) mg/ kg de terre (S. Agoun-Bahar et al, 2018).**

L'activité de la glutathion S-transférase (GST, EC 2.5.1.18) a été évaluée comme décrit par Habig et al. L'activité de l'enzyme Glutathion S Transférase mesurée au niveau des racines, augmente progressivement dans plantules traitées par rapport à celles des plantules témoins en fonction de l'augmentation des concentrations en naphthalène. Cette valeur passe de

$0.029 \pm 0.01$  mmoles de complexe/min.mg de protéines pour le témoin à :  $0.039 \pm 0.01$  ;  $0.06 \pm 0.006$  ;  $0.075 \pm 0.01$  mmoles de complexe/min.mg de protéines pour les différentes concentrations 0.5, 25, 100 mg/kg de sol.

L'étude statistique a montré que l'activation de l'activité de l'enzyme est peu significative pour la concentration 0.5 mg/kg de sol, moyennement significative pour la concentrations 25 mg/kg de sol et hautement significative pour la plus forte concentration qui est 100 mg/kg de sol .

### b) Feuilles



**Figure 20 (B) : Activité de la glutathion S-transférase dans les feuilles des plants de pois cultivés Dans les sols témoins et le naphtalène contaminé à 0.5 (C1), 25 (C2) et 100 (C3) mg. 1 kg de terre (S. Agoun-Bahar et al, 2018).**

L'activité de l'enzyme Glutathion S transférase dans les feuilles des plantules témoins est faible ( $0.009 \pm 0.03$ ). Elle est beaucoup plus élevée et augmente progressivement au niveau des feuilles des plantules traitées en fonction de l'augmentation des différentes

concentrations pour atteindre respectivement les valeurs :  $0.13 \pm 0.002$  ;  $0.42 \pm 0.02$ ,  $0.78 \pm 0.015$  mmoles de complexe/min.mg de protéines pour les différentes concentrations 0.5, 25, 100 mg/kg de sol.

L'étude statistique a révélé une différence d'autant plus significative que la concentration en naphthalène augmente (C2, C3).

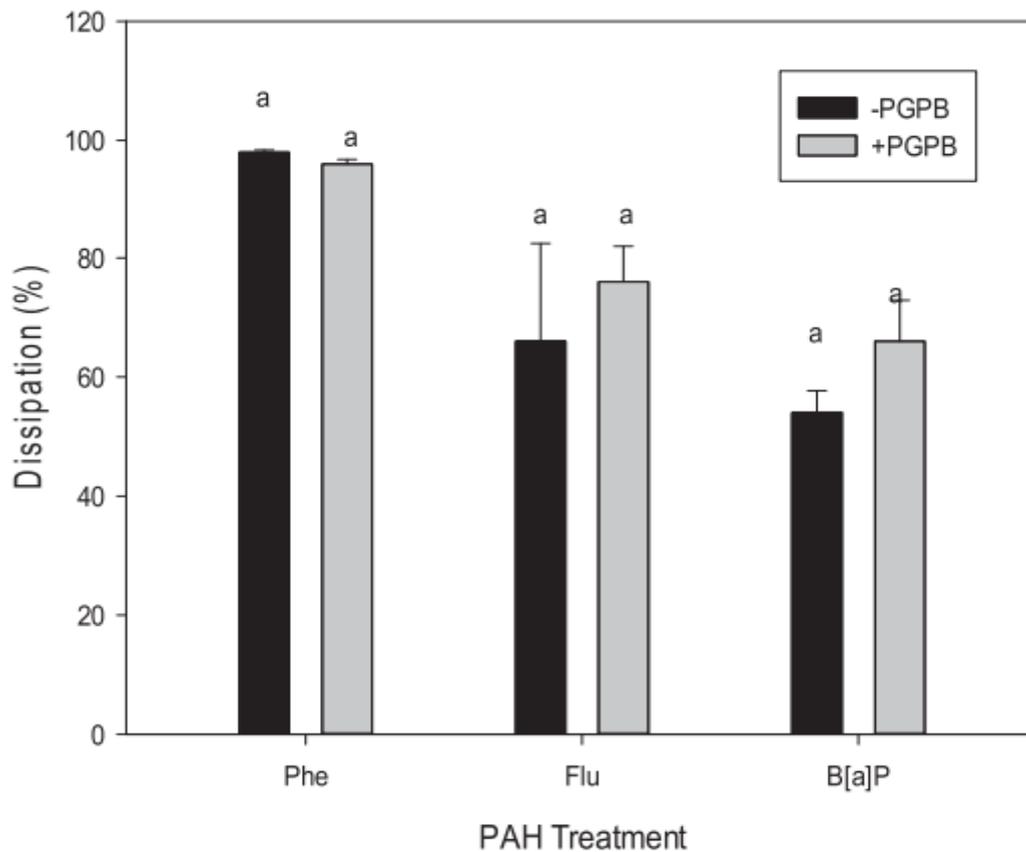
### **III-Phytoremédiation par *Lolium perenne* et *Festuca arundinacea***

Le but de cette étude est d'étudier l'effet de PGPB; *Pseudomonas putida* Inoculation UW4 sur l'efficacité de la phytoremédiation de *Festuca arundinacea*, *Lolium perenne*, et plantes mixtes (*L. perenne* et *F. arundinacea*) a été évaluée. Cela impliquait deux traitements de contaminants; " PAH " (phénanthrène; 300 mg/ kg, fluoranthène; 200 mg/kg, et benzo [une] pyrène; 5 mg/ kg).

#### **1-Dissipation des HAP avec *L.perenne* en présence/Absence PGPB (plant growth promoting bacteria)**

PGPB : bactérie favorisant la croissance des plantes « *Pseudomonas putida* Inoculation UW4.

Le pourcentage de dissipation de phénanthrène; fluoranthène; benzo [ a] pyrène en Absence de PGPB sont : 97% ;  $65\% \pm 15$  ;  $55\% \pm 3$  respectivement. Et celles en présence de PGPB sont :  $96\% \pm 1$  ;  $75\% \pm 4$  ;  $65\% \pm 6$  respectivement.

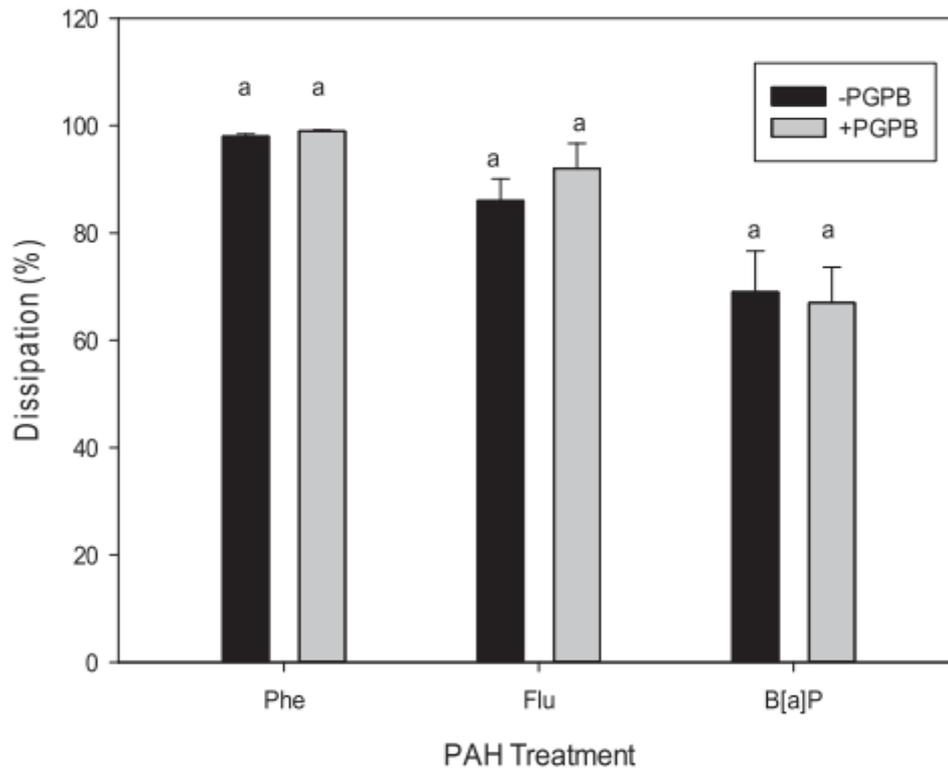


«.

**Figure 21 : Effet de l'ajout de PGPB sur la dissipation des HAP avec *Lolium perenne* en présence/Absence PGPB (Seniyat Larai Afegbua & Lesley Claire Batty , 2019).**

## **2-Dissipation des HAP avec *F. arundinacea* en présence/Absence PGPB (plant growth promoting bacteria)**

La figure 20 représente l'effet de la présence et l'absence de PGPB sur la dissipation des HAP avec *F.arundinacea* ., Le pourcentage de dissipation de phénanthrène; fluorenthrène; benzo [ a ] pyrène en absence de PGPB est : 98% ± ; 85% ±4 ; 70% ±8 respectivement. Et en présence sont : 99% ; 92% ± 5 ; 67% ±7 respectivement.

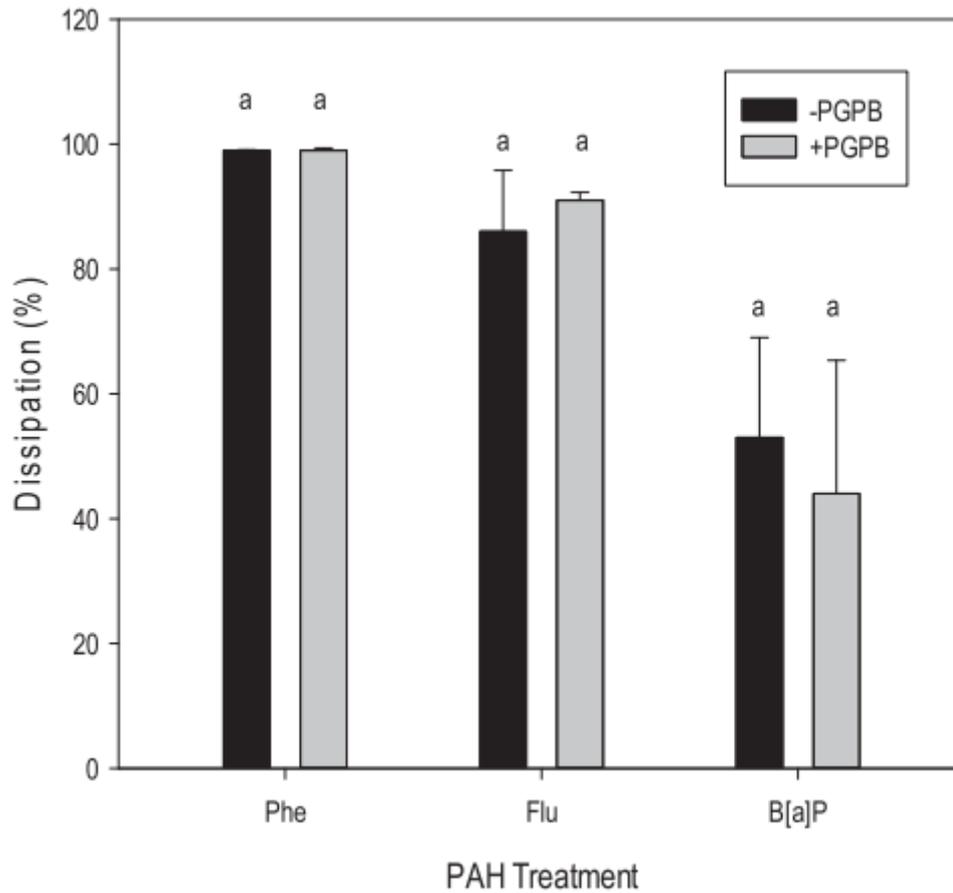


**Figure 22 : Effet de l'ajout de PGPB sur la dissipation des HAP avec *F. arundinacea* en présence/Absence PGPB (Seniyat Larai Afegbua & Lesley Claire Batty , 2019).**

### **3-Dissipation des HAP avec *F. arundinacea* et *L. perenne* en présence/Absence PGPB (plant growth promoting bacteria)**

La figure 21 représente l'effet de la présence et l'absence de PGPB sur la dissipation des HAP avec *F. arundinacea* et *L. perenne* ensemble, on observe une dissipation à 99% pour phénanthrène en présence et absence de PGPB.

chez le fluoranthene et benzo [ a ] pyrène et en absence de PGPB , la dissipation est : 85%  $\pm$ 9 ; 50%  $\pm$  15 respectivement , par contre en présence elle est : 90%  $\pm$  1 ; 45%  $\pm$ 21 respectivement.



**Figure 23 : Effet de l'ajout de PGPB sur la dissipation des HAP avec des plantes mixtes (*Festuca arundinacea* + *Lolium perenne*) en présence et absence de PGPB (Seniyat Larai Afegbua & Lesley Claire Batty , 2019).**

### Discussion des résultats

La réponse des plantes aux HAP a montré des différences selon les types de contaminants et leurs concentrations ; Kanaly et Harayama.

Pour les cultivés de maïs qui ont été réalisées afin de suivre sa capacité à éliminer les hydrocarbures pétroliers (pétrole brute, phénanthrène, anthracène, pyrène) en présence et en absence d'une bactérie *Streptomyces sp.Hlh1*, Les associations plantes- endophytes sont reconnues comme des partenariats synergiques utiles pour le nettoyage des sols contaminés ( Newman et Reynolds, 2005 ; Ryan et coll., 2008 ).

Les résultats montrent La capacité optimale de maïs dans l'élimination de Pyrène (en absence de la bactérie) composé à quatre anneaux qui est considéré comme plus persistant et difficile à biodégrader que le phénanthrène et l'anthracène ( Ghosal et coll., 2016 ), et en présence de *streptomyces sp.Hlh1*, il est capable d'éliminer phénanthrène, anthracène, pétrole brute respectivement, Dans le domaine des bactéries, les *Actinobactéries* ont reçu une attention particulière pour être actives pour la bio/phyto-remédiation ( Alvarez et al., 2017 ). En particulier, le *Streptomyces* association avec des plantes ( Balachandran et al., 2012 ; Baoune et al., 2018 ; Polti et al., 2007 ), auraient pu dégrader les hydrocarbures pétroliers ( Bourguignon et al., 2016 ).

Le développement des racines et la longueur des plantules sont toujours positive, et plus efficace en présence de la bactérie, ce qui signifie que ces hydrocarbures n'ont pas un effet négative sur cette espèce et que le maïs est tolérant.

L'étude de sa teneur en caroténoïdes et en chlorophylle montre qu'elles sont positives soit en absence de la bactérie et plus remarquable dans sa présence, cela pour ne pas savoir un effet de ces HAP sur la couleur et la morphologie externe de maïs. Dans ce contexte, le présent travail met en lumière le rôle d'un endophyte dégradant le pétrole. *Streptomyces* souche pour améliorer la phytoremédiation des sols contaminés par les hydrocarbures pétroliers.

## Chapitre II : Des essais scientifiques sur la phytoremédiation des HAP.

---

L'utilisation de pois pour la rémediation des HAP (figure 14) en présence d'*Eisenia fetida* montre le changement de la couleur (sombre par rapport au témoin) des racines latérales et l'apparition des nodules sur ces racines, ces nodules sont à l'origine de l'extraction des HAP par cette plante.

Le naphthalène est aussi l'un des 16 HAP de l'United states environmental protection agency (US EPA) .dans l'étude de son effet sur la longueur des plantules (figure15), Le nombre des racines primaires et latérales pendant trois semaines, on observe que tous les concentrations utilisées (0.5 ; 25;100mg/kg) ont affectées le développement de la longueur de ces plantules qui sont cultivé dans des sols contaminées à différentes concentrations. Le pétrole brut et ses sous-produits peuvent réduire le développement des pousses et des racines, ce qui pourrait être lié au retard de l'expansion cellulaire ( Athar et coll., 2016 ). Selon Calvelo Pereira et coll. (2010), la distribution de la biomasse des plantes cultivées dans un sol contaminé ainsi que l'activité physiologique sont déterminées non seulement par le niveau de contamination du sol mais également par le type de contaminant.

Mais par rapport au nombre des racines primaires et latérales on observe une diminution significative de nombre suite à l'augmentation de la concentration de naphthalène. Wild et Jones : ont montré que les polluants organiques peuvent affecter la morphologie et la croissance des plantes; ils ont observé une nécrose.

La teneur en chlorophylle et caroténoïdes des feuilles est utilisée comme indicateur du stress des plantes (Huang et coll., 2004), Leur teneur pour le pois en présence de naphthalène à différents concentrations apparait sur une augmentation non significative. Cependant, l'étude de l'activité de glutathion S-Transférase une enzyme clé qui s'impliquée dans les racines surgir une augmentation significative pour 0.5 mg/kg, plus significative pour 25 mg/kg et très significative selon 100mg/kg, et celle des feuilles elle est significative, très significative, très significative respectivement.

Cependant, Le glutathion S-transférase c'est l'une des activités biologiques pour suivre la détoxification et la métabolisme d'un xénobiotique (naphthalène), Sa teneur s'augmente très significativement au niveau des feuilles et racines ce qui signifie la stabilisation de ce polluant dans ces parties (phytostabilisation) .

L'étude de dissipation de phénanthrène, fluoranthène et benzo[a] pyrène avec *Lolium perenne* en présence d'une bactérie(PGPB) elle est plus efficace par rapport à son absence,

spécialement pour Anthracène et péroxy, et contrairement au phénanthrène, Les mécanismes de promotion de la croissance des plantes par le PGPB comprennent une meilleure acquisition des nutriments, une fixation de l'azote symbiotique, la production de phytohormones (comme l'acide indoleacétique) et la suppression de la production d'éthylène de stress (Zhuang et al. 2007 ; Gholami et Nezarat 2009 ; Glick 2010 ). La dissipation de phénanthrène et fluoranthène par *F.arundinacea* en présence de PGPB plus élevée que pour le benzo[a]pyrène .Alors que la dissipation par les ces deux espèces montre l'efficacité en présence de PGPB pour la fluoranthène ,la similarité le phénanthrène( présence et absence de PGPB) et faiblement pour benzo[a]pyrène où la dissipation en absence de PGPB plus élevée que en présence, Inhibition de la dissipation des HAP dans les traitements avec *P. putida* UW4 peut être lié à l'inhibition de la croissance des plantes observée dans certains cas avec un impact sur l'exsudation racinaire, la phytostimulation et la biodégradation (Liste et Alexander 2000 ; Louvel et coll. 2011 ).

CONCLUSION

## CONCLUSION

Le travail réalisé a porté sur l'étude de l'interaction entre *Pisum sativum*, *Zea mays*, *L.perenne* et *F.arundinacea* avec des xénobiotiques pour essayer de mettre en évidence l'influence ou la capacité de ces contaminants à résister devant des différentes concentrations, ce ci en vue de les utiliser en phytoremédiation.

Par le biais d'une étude, quelques paramètres de la végétation ainsi que des propriétés d'un sol agricole contaminé par les hydrocarbures ont été examinés. Cela a été observé en comparant un sol témoin et un sol contaminé par des HAP.

Des études associant à l'échelle métabolique et morphologique ont été menées au cours de cette étude. Les interactions primaires entre la plante et ce milieu complexe ont lieu en particulier au niveau des racines primaires, puis les racines latérales puis au niveau de la partie aérienne (chlorophylle et glutathion).

Les résultats obtenus dans cette expérience, ont montré que les plants de petit pois sont un bon choix pour développer des tests de phytoremediation en utilisant le naphthalène, Car ces plantules de pois pouvaient pousser dans un sol contaminé au naphthalène sans signes de phytotoxicité.

Cependant, le maïs est aussi capable d'assainir les sols contaminés par des hydrocarbures pétroliers( pétrole brute, phénanthrène ,anthracène ,pyrène) , sa capacité d'assainissement est améliorée par l'inoculation de l'endophyte *Streptomyces sp. Hlh1*. Alors, ces données présentées dans ce travail fournissent des preuves de la possibilité exceptionnelle d'utiliser des plants de maïs inoculés avec *Streptomyces sp. Hlh1* comme composante importante d'un programme de phyto-gestion des sols contaminés aux hydrocarbures.

Suite à la réduction de leur taille des racines et leur changement morphologique des racines primaires et latérales, l'accroissement de leur teneur en pigments et celle de glutathion qui sont un effet de stress. Les plantules de petit pois et maïs continuent leur développement.

L'inoculation du PGPB a considérablement amélioré la dissipation de fluoranthene et Benzo [a] pyrène avec *L.perenne* et la dissipation de fluoranthene par *F.arundinacea*. L'utilisation d'une communauté végétale mixte et l'inoculation de PGPB n'ont pas amélioré

de manière significative la dissipation des HAP par rapport aux plantes isolées. et donc ,  
Différents impacts de l'inoculation de PGPB peuvent être liés à la complexité du ce  
système et à différentes variables telles que le nombre de PGPB actifs, les espèces  
végétales, Spécificité de la bactérie et l'exsudation des racines de la plante par interaction  
microbienne .

Perspectives :

- Faire une étude anatomique sur les racines des différents espèces étudiées.
- étudier les mécanismes enzymatiques impliqués dans la dégradation et la transformation de naphthalène qui permettra d'optimiser les techniques de phytoremédiation.
- Comprendre les relations sol-plante-microorganismes dans la technique de phytoremediation.

## Références bibliographiques :

- Afegbua, S.L., & Batty, L. (2019). Effect of plant growth promoting bacterium; *Pseudomonas putida* UW4 inoculation on phytoremediation efficacy of monoculture and mixed culture of selected plant species for PAH and lead spiked soils. *International Journal of Phytoremediation*, 21, 200 - 208.
- Agoun-Bahar, S., Djebbar, R., Nait Achour, T., & Abrous-Belbachir, O. (2019). Soil-to-plant transfer of naphthalene and its effects on seedlings pea (*Pisum sativum* L.) grown on contaminated soil. *Environmental technology*, 40(28), 3713-3723.
- **Andrew Carberry, MPH** : <https://fr.wikihow.com/mesurer-le-taux-de-croissance-d%27une-plante#R.C3.A9f.C3.A9rences>.
- Annexe 2 Termes et définitions utilisés dans FRA 2010 - Evaluation des ressources forestières mondiales 2010 - P :220 .
- **AZZOUZ Fatiha**- Les réponses morpho physiologiques et biochimiques chez l'haricot (*Phaseolus vulgaris* L.) soumis à un stress hydrique- P :30.
- Baoune, H., Aparicio, J. D., Acuña, A., El Hadj-khelil, A. O., Sanchez, L., Polti, M. A., & Alvarez, A. (2019). Effectiveness of the *Zea mays*-*Streptomyces* association for the phytoremediation of petroleum hydrocarbons impacted soils. *Ecotoxicology and environmental safety*, 184, 109591.
- **BERKOUCHE Houria , HADJADJ Hacina** - Essai de phytoremédiation d'un sol pollué aux hydrocarbures en utilisant la fève, les pois et l'orge – P : 22.
- **CHAKER-HADDADJ, A.** (2015). *Evaluation de la tolérance à la contrainte saline chez quelques variétés de féverole (*Vicia faba* L. minor) cultivées en Algérie* (Doctoral dissertation).p33.
- **Colombano S., Saada A, Victoire E., Guerin V., Zornig C., Amalric L., Blessing M., Widory D., Hube D. et Blanc C.** avec la collaboration de **Honrado J-C. et Gassiat B.** (2014) - Nature des produits pétroliers et origine du vieillissement : tentative de l'identification de la source via la prise en compte des impacts et l'analyse de l'âge approximatif des déversements. Rapport final. Rapport BRGM RP-64174-FR, 163 p., 62 fig., 33 tabl.

- DIPLOME, D. M- Etude de l'effet du stress salin sur la nodulation et sur quelques paramètres biochimiques et morphologiques de la Lentille (*Lens culinaris L.*)-p35.
- **Dominique Galiana, Catherine Le Roux, Isabelle Monchâtre** -La gestion du vivant et des ressources Bac technologique STAV: Module M72 ,P :25.
- **Druart Philippe, Husson, Claude, Paul, Roger,** Renaturation des berges de cours d'eau et phytoremédiation , p :69.
- **François Ramade** -Introduction à l'écochimie: Les substances chimiques de l'écosphère à l'homme ,P :384.
- **François Ramade**- Introduction à l'écochimie: Les substances chimiques de l'écosphère à l'homme , 382-384.
- [Http://antropocene.it/en/2019/05/31/festuca-arundinacea/](http://antropocene.it/en/2019/05/31/festuca-arundinacea/)
- [Http://antropocene.it/en/2019/05/31/festuca-arundinacea/](http://antropocene.it/en/2019/05/31/festuca-arundinacea/)
- [Http://botarela.fr/Poaceae/Taxons/Lolium-perenne.html](http://botarela.fr/Poaceae/Taxons/Lolium-perenne.html)
- [Http://hydrocarbon.e-monsite.com/pages/generalites-sur-les-hydrocarbures.html](http://hydrocarbon.e-monsite.com/pages/generalites-sur-les-hydrocarbures.html)
- [Http://symbiotech.over-blog.com/micro-organismes-du-sol](http://symbiotech.over-blog.com/micro-organismes-du-sol)
- [Http://www.marees-noires.com/fr/petrole/qu-est-ce-que-le-petrole/genese-petrole.php](http://www.marees-noires.com/fr/petrole/qu-est-ce-que-le-petrole/genese-petrole.php)
- [Http://www.omnibota.com/View/Flora\\_class2.php?pageNum\\_Classification1=1582&totalRows\\_Classification1=1903](http://www.omnibota.com/View/Flora_class2.php?pageNum_Classification1=1582&totalRows_Classification1=1903)
- [Http://www.omnibota.com/View/Flora\\_class2.php?pageNum\\_Classification1=1665&totalRows\\_Classification](http://www.omnibota.com/View/Flora_class2.php?pageNum_Classification1=1665&totalRows_Classification)
- [Http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/racine/12-racines.htm](http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/racine/12-racines.htm).
- [Https://fr.wikipedia.org/wiki/Pois\\_cultiv%C3%A9](https://fr.wikipedia.org/wiki/Pois_cultiv%C3%A9)
- [Https://intogreen.nl/fytoremediatie-hoe-planten-de-balans-herstellen/](https://intogreen.nl/fytoremediatie-hoe-planten-de-balans-herstellen/)
- [Https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00680031/document](https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00680031/document)
- [Https://www.africmemoire.com/part.4-chapitre-ii-generalites-sur-le-maiuml-s-841.html#:~:text=Selon%20Vanden%20put%20\(1981\)%2C,onna%C3%A9t%20pas%20d'esp%C3%A8ces%20sauvages.](https://www.africmemoire.com/part.4-chapitre-ii-generalites-sur-le-maiuml-s-841.html#:~:text=Selon%20Vanden%20put%20(1981)%2C,onna%C3%A9t%20pas%20d'esp%C3%A8ces%20sauvages.)
- [Https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/developpement-durable-phytoremediation-6863/](https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/developpement-durable-phytoremediation-6863/)
- [Https://www.investopedia.com/terms/p/petroleum.asp](https://www.investopedia.com/terms/p/petroleum.asp)
- <https://www.nature-et-forme.com/page/dossier/la-chlorophylle>

- <https://www.tela-botanica.org/bdtfx-nn-39692-ecologie>
- <https://www.tela-botanica.org/bdtfx-nn-39692-illustrations>
- <https://www.tela-botanica.org/ressources/ressources-pedagogiques/un-apercu-de-botanique/>
- INERIS - Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques-Fluoranthène –P :04.
- INERIS - Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques-Naphtalène-P :09.
- **J.L. Morel** -La phytoremédiation des sols contaminés(Figure1)-P :63.
- **J.L. Morel** -La phytoremédiation des sols contaminés-P :64.
- **Jean Guézennec** -Bactéries marines et biotechnologies ,P : 140.
- **Jean-Claude Guibet .1997** :moteurs et carburants .Edition TECHNIP.p:22.
- **Jean-Philippe DEGUINE, Caroline GLOANEC , Philippe LAURENT, Alain RATNADASS, Jean-Noël AUBERTOT** - Protection agroécologique des cultures , p :201.
- **L. Radhouane** - C. R. Biologies 331 (2008) 278–286 - P :280.
- **N.Nikolova-pavageau ,F.pilliére**- Cartographie des expositions aux hydrocarbures aromatiques polycycliques(HAP) par secteur d’activité : Focus sur la surveillance biologique des expositions professionnelles – P : 42(Tableau I).
- **Nadia Origo, Stanislas Wicherek and Micheline Hotyat**-Réhabilitation des sites pollués par phytoremédiation-P :2.
- **Pascal Henner** - Phytoremédiation appliquée au traitement de sols contaminés par des hydrocarbures aromatiques polycycliques –P :14.
- **Pascal Henner** - Phytoremédiation appliquée au traitement de sols contaminés par des hydrocarbures aromatiques polycycliques –P :10.
- **Peter H Raven, Susan R Singer, Georges B Johnson, Kenneth A Mason, Jonathan B Losos** – Biologie 4 eme Edition – P :222 (Figure 12.2).
- **Philippe Cambier, Christian Schvartz, Folkert van Oort** - Étude réalisée dans le cadre des projets de Service public du BRGM 2008-POL-A06 correspondant à la convention BRGM-MEEDDAT 2008 n° 0001386. S. - Contaminations métalliques des agrosystèmes et écosystèmes péri-industriels. , p :240-241.
- **Pierre Nyabyenda**- Les plantes cultivées en régions tropicales d'altitude d'Afrique ,P :62-63.

- **S.Colombano,A.Saada,V.Guerin,P.Bataillard,G.Bellenfant,S.Beranger,D.Hube , C.BlancC. Zorning et I.Girardeau** –Quelles techniques pour quels traitement ? Analyse couts-bénéfices.Rapport final BRGM/RP-58609-FR Juin 2010, P :19-21.
- **Saeid Gitipour, George A. Sorial ,Soroush Ghasemi ,Mahdiah Bazyari-** Treatment technologies for PAH-contaminated sites: a critical review- P :03.
- Sivaram, A. K., Logeshwaran, P., Lockington, R., Naidu, R., & Megharaj, M. (2019). Phytoremediation efficacy assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons contaminated soils using garden pea (*Pisum sativum*) and earthworms (*Eisenia fetida*). *Chemosphere*, 229, 227-235.

## **Résumé :**

L'objectif de ce travail est de connaître l'effet des différentes concentrations des xénobiotiques organiques et différents types de dérivés des hydrocarbures aromatiques polycycliques sur les différents paramètres physiologiques et morphologiques des plantes : *pisum sativum* , *Zea mays* , *Lperenne* et *F.arundinacea*, et l'efficacité de ces espèces dans la décontamination d'un sol pollué par ces HAP.

Les résultats obtenus confirment que ces hydrocarbures ont affecté la vitesse de croissance racinaires et le développement végétale de ces espèces, et ils ont exercé un effet significatif sur la synthèse de chlorophylle A et B et les caroténoïdes et glutathion S transférase

Cependant, d'après les résultats des tests sur l'efficacité de phytoremédiation de ces espèces, on peut conclure que *pisum sativum* , *Zea mays* , *Lperenne* et *F.arundinacea* ont été très efficaces dans la dépollution du sol, elles ont donc un bon potentiel phytoremédiateur des sols contaminés par des hydrocarbures aromatiques polycycliques.

**Les mots clés :** hydrocarbures aromatiques polycycliques , Sol , *pisum sativum* , *Zea mays*, *L.perenne* et *F.arundinacea*, décontamination, phytoremédiation.

## **Summary :**

The objective of this work is to know the effect of different concentrations of organic xenobiotics and different types of polycyclic aromatic hydrocarbon derivatives on the different physiological and morphological parameters of plants: *pisum sativum* , *Zea mays* , *Lperenne* and *F.arundinacea*, and the effectiveness of these species has the decontamination of soil polluted by these PAHs.

The results confirm that these hydrocarbons affect the root growth speed and plant development of these species, and had a significant effect on chlorophyll A and B synthesis and caroténoïdes.

However, based on the results of the phytoremediation efficacy tests of these species, it can be concluded that *pisum sativum* , *Zea mays* , *Lperenne* and *F.arundinacea* were highly effective in soil remediation, they therefore have good phytoremediation potential in soils contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons.

**Keywords:** polycyclic aromatic hydrocarbons, Soil , *pisum sativum* , *Zea mays*, *L.perenne* and *F.arundinacea*, decontamination, phytoremediation.

## **ملخص:**

الهدف من هذا العمل هو معرفة تأثير تراكيز مختلفة من *xenobiotiques* العضوية وأنواع مختلفة من مشتقات الهيدروكربون العطرية متعددة الحلقات على المتغيرات الفسيولوجية والمورفولوجية للنباتات: *pisum sativum* و *Zea mays* و *Lperenne* و *F.arundinacea* وفعالية هذه الأنواع لديها تطهير التربة الملوثة بهذه الهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات.

وتؤكد النتائج التي حصل عليها الباحثون أن هذه الهيدروكربونات اثرت على سرعة النمو الجذري والتطور النباتي لهذه الأنواع، وكان لها تأثير كبير على تركيب الكلوروفيل أ و ب والكاروتينويد و الغلوتاتيون.

ومع ذلك، واستناداً إلى نتائج اختبارات فعالية النباتات لهذه الأنواع، يمكن استنتاج أن البازلاء ، والبذرة ،

*L.perenne* and *F.arundinacea*

كانت فعالة للغاية في معالجة التربة، ولذلك فإن لديهم احتمالات جيدة للتنقية النباتية في التربة الملوثة بالهيدروكربونات العطرية المتعددة الحلقات.

## **الكلمات المفتاحية :**

*L.perenne* et *F.arundinacea* ، هيدروكربونات عطرية متعددة الحلقات ، تربة ، البازلاء ، إزالة التلوث ، التنقية بالنباتات .  
الذرة ،