



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة زيان عاشور-الجلفة

Université Ziane Achour –Djelfa

كلية علوم الطبيعة و الحياة
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
قسم العلوم البيولوجية

Département des Sciences biologiques

Projet de fin d'étude

En vue de l'obtention du Diplôme de Master Biologie

Spécialité: Ecologie végétale et Environnement

Thème:

Contribution à l'étude de la tolérance du *Tamarix articulata* au Zinc

Présenté par : Chettouhi Moubarka

Devant le jury :

| | | | |
|-----------------------------|------------|----------------------|---------------|
| Mr Nedjimi B. | Professeur | Université de Djelfa | Président |
| Mme Bencherif K. | M.C.A. | Université de Djelfa | Examinatrice |
| Mr Azzouz M. | M.A.A. | Université de Djelfa | Examineur |
| M ^{me} Belhadj S. | Professeur | Université de Djelfa | Promotrice |
| M ^{me} Kerfaoui F. | Doctorante | Université de Djelfa | Co-Promotrice |

Année Universitaire : 2019/2020

Remerciements

Je tiens à remercier avant tout **ALLAH** le tout puissant, de m'avoir aidé toutes ces années d'étude et m'avoir donné la volonté, la patience et le courage pour terminer ce travail. Il m'est agréable de rendre hommage et d'exprimer ma reconnaissance à tous ceux qui ont manifesté de l'intérêt et m'ont permis de mener à bien ce travail.

Au terme de ce travail, j'exprime mes vifs remerciements à :

Ma promotrice, M^{me} **Belhadj S.** Pour son aide précieuse et ses conseils judicieux.

Ma Co-promotrice M^{me} **Kerfaoui F.** pour l'aide compétente qu'elle m'a apportée, pour sa patience et son encouragement.

Je tiens à signifier mes reconnaissances à l'ensemble des responsables du laboratoire universitaire qui n'ont ménagé aucun effort pour faciliter nos tâches dans le cadre de cette étude.

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements à tous les professeurs qui m'ont enseigné et qui par leurs compétences m'ont soutenu dans la poursuite de mes études.

Enfin, que toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail soient vivement remerciées.

Dédicaces

À **Allah** Tout Puissant, d'avoir été mon guide pendant toutes ces années.

Ce mémoire représente l'aboutissement du soutien et l'encouragement que mes parents m'ont prodigué tout au long de ma scolarité. Cru en moi et m'avoir aidé à arriver là où j'en suis ;
Merci pour tout.

À la mémoire de la plus chère personne à mon cœur papa **Ali Chettouhi** Allah yarhmou,
meilleur papa au monde

À ma chère mère **Toumi Oumelkheir**, qui a toujours été là pour moi, qui m'a accordé son soutien et son perpétuel encouragement, merci pour tout, je ne serai pas celle que je suis sans ton amour, ta dévotion, ton éducation. Qu'Allah lui accorde la santé et le bonheur.

À mes deux frères : **Salem et Mohammed**

À ma sœur : **Yossra Kholoude**

À tous ceux qui ont participé de près ou de loin dans la réalisation de ce travail

Moubarka Chettouhi

Liste des abréviations

Liste des abréviations

% : Pourcent.

C : Degré Celsius.

Ha : Hectare.

Km : kilomètre

km² : kilomètre carré.

m : mètre

m² : Mètre carré.

Mm : Millimètre.

T : Température.

Zn: Zinc

T: Témoin

Cu : cuivre

g : gramme

Pb : plomb

J : Jour

h: heure

DCO : demande chimique en oxygène

ETM: Eléments traces métalliques

NaCl : chlorure de sodium

DBO5 : demande biologique en oxygène durant 5 jours

ZIP: Zinc-regulated transporters, Iron-regulated transporter-like Protein.

GPS : Global Position System (Système de Positionnement Global par satellite)

Liste des tableaux

Tableau 1 : Gamme des concentrations des polluants métalliques les plus répandus dans l'environnement.

Tableau 2: Avantages et inconvénients de la phytoremédiation

Liste des figures

- Figure 1:** Principaux caractères botaniques de la famille des *Tamaricacées*
- Figure 2:** Forme ramifiée du genre *Tamarix articulata*
- Figure 3:** Forme de feuilles formant un fourreau autour de rameau chez *Tamarixaphylla*
- Figure 4:** Exemple de feuilles plus larges que longues chez *Tamarix pauciovulata*
- Figure 5:** Inflorescence chez : (A) *Tamarix africana*, (B) *Tamarix gallica*
- Figure 6:** Forme des graines de certaines espèces du genre *Tamarix* L.
- Figure 7 :** Forme générale chez *Tamarix articulata* Vahl.
- Figure 8:** Fleurs de *Tamarix articulata*
- Figure 9:** Feuilles et graines de *Tamarix articulata*
- Figure 10 :** Translocation du zinc à travers les vaisseaux du xylème
- Figure 11 :** Différentes techniques de phytoremédiation.
- Figure 12 :** Représentation schématique du processus de phytoextraction des métaux lourds.
- Figure 13:** Préparation des boutures.
- Figure 14 :** Boutures placées sur du papier journal
- Figure 15 :** Dispositif de mise en culture des boutures de *Tamarix articulata*
- Figure 16 :** Coupes des boutures de *tamarix articulata*
- Figure 17:** Préparation du substrat de culture (sable+tourbe)
- Figure 18:** Préparation des pots
- Figure 19 :** Remplissage des pots par le mélange sable et tourbe
- Figure 20:** Sécateur pour couper les boutures
- Figure 21:** Préparation du substrat de culture (lavage du sable)

Sommaire

Dédicaces
Remerciements
Liste des abréviations
Liste des tableaux
Liste des figures

Partie 1: synthèse bibliographique

Introduction 1

Chapitre I: Description de l'espèce étudiée *Tamarix articulata*

I. Caractères généraux de la famille des Tamaricacées 3

II- Description du genre *Tamarix* 3

 II -1- Historique 3

 II -2- Les synonymes de *Tamarix* : 4

 II.3. Généralités sur le genre *Tamarix*: 4

 II-4- Aire de répartition du genre *Tamarix* 5

III. Caractères botaniques et biologie du genre *Tamarix* 5

 III. 1. Caractères botaniques 5

 III. 1. 1. La forme générale 5

 III. 1. 2. Les rameaux 6

 III. 1.3. Les feuilles 6

 III. 1. 4. Les fleurs 8

 III. 1. 5. Les graines 8

 III. 1. 6. Le système racinaire 9

IV. Caractéristique du *Tamarix articulata* L 10

 IV.1. Description botanique: 11

 IV.2. Classification: 12

 IV.3. Distribution et climat 12

 IV.4. Sol: 13

 IV.5. Multiplication: 13

| | |
|--|-----------|
| IV.6. Utilisation: | 13 |
| Chapitre II : Généralités sur les métaux lourds | |
| I. Métaux lourds | 16 |
| I.1.Généralités sur les métaux lourds | 16 |
| I.2.Définition | 16 |
| I.3.Les sources de métaux lourds : | 17 |
| I.3.1.Les sources naturelles : | 17 |
| I.3.2. Les sources anthropiques..... | 17 |
| I.4.Classification biologique des métaux lourds | 17 |
| I.4.1.Les éléments traces essentiels | 18 |
| I.4.2.Les éléments traces non essentiels..... | 18 |
| I.5.Rôle des Métaux lourds | 18 |
| I.6.Impacts des métaux sur les végétaux..... | 18 |
| II.Le zinc | 20 |
| II.1. Présentation du zinc | 20 |
| II.2.Caractéristiques physico-chimiques du zinc..... | 20 |
| II -2.1. Propriétés physiques du zinc | 21 |
| II.2.2. Propriétés chimiques du zinc | 21 |
| II.3.Usages du zinc..... | 21 |
| II.4.Toxicité du zinc..... | 22 |
| II.5.Biodisponibilité..... | 23 |
| II.6.Rôle du Zn..... | 23 |
| III.Zinc dans la plante..... | 24 |
| III.1.Absorption du zinc par la plante | 24 |
| III.2.Distribution du zinc dans la plante | 24 |
| III.3.La translocation du zinc dans la plante..... | 24 |
| III.4.Excès de zinc..... | 25 |
| III.5.La carence en Zinc | 25 |
| IV.Effet du zinc sur l'environnement | 26 |
| V.La tolérance..... | 26 |
| Chapitre III : Phytoremédiation | |
| I. Définition et généralités sur la phytoremédiation..... | 27 |
| I.1.Stratégies de phytoremédiation | 27 |

| | |
|---|----|
| I.2. Les différentes techniques de phytoremédiation | 28 |
| I.3. Phytoremédiation des sols contaminés par les métaux..... | 30 |
| I.4. Phytoremédiation des sols pollués par des composés organiques..... | 31 |
| I.5. Avantages et inconvénients des la phytoremédiation | 32 |

Partie 2: Etude expérimentale

| | |
|---|----|
| I. Matériel d'étude..... | 33 |
| I.1. Matériel végétal..... | 33 |
| I.2. Le sel de zinc ($ZnSO_4$)..... | 33 |
| II. Méthodes d'étude | 33 |
| II.1. La Composition du substrat de culture : | 33 |
| II.2. Préparation des boutures..... | 34 |
| II.3. La croissance..... | 35 |
| III. Les paramètres étudiés..... | 36 |
| III.1. Paramètres de croissance | 36 |
| III.2. Dosage des pigments chlorophylliens | 37 |
| III.3. Dosage de la proline..... | 37 |
| IV. Analyse statistique | 38 |
| Conclusion..... | 39 |
| Référence bibliographiques | 41 |
| Annexe | 46 |
| Résumé | |



Introduction

Introduction

La pollution par les métaux lourds est devenue l'un des problèmes environnementaux les plus graves (**Elkhawaga, 2011**). La pollution de l'environnement constitue depuis les années 60 une préoccupation majeure de nos sociétés modernes. D'après **Stengel et Gelin (1998)**, la pollution est une modification défavorable du milieu naturel en modifiant les composantes physiques, chimiques ou biologiques. Elle représente un sérieux problème pour l'environnement à cause des rejets de nombreux produits chimiques dont des éléments métalliques rejetés par les industries, l'agriculture et les communautés urbaines. Ces métaux sont souvent toxiques à faible concentration et les microorganismes sont les premiers organismes influencés par cette toxicité (**Habi, 2009**). L'élément trace sélectionné dans ce travail est parmi les polluants métalliques les plus fréquemment rencontrés dans les sols, à savoir le zinc. C'est un oligoélément essentiel au développement des végétaux mais il s'avère toxique à forte dose. Et ce par l'ajustement osmotique qu'il est l'un des mécanismes adaptatifs principaux des halophytes, qui comporte l'accumulation des molécules en réponse à un stress (**Zhang et al., 1999**).

Pour réduire les effets toxiques des métaux lourds, il existe principalement des technologies de remédiation mécanique ou physico-chimique, stabilisation / immobilisation et désorption thermique, utilisés pour l'élimination des contaminants (**Belluck et al., 2006**). Ces techniques sont généralement coûteuses et perturbent les mécanismes biologiques du sol. Par conséquent, la technologie de phytoremédiation a reçu une considération croissante (**Marques et al., 2009**).

Afin de pallier aux limites environnementales, des méthodes biologiques sont actuellement employées pour le traitement des sols pollués telles que la phytoremédiation, c'est-à-dire l'utilisation des plantes pour éliminer ou dégrader les métaux lourds dans les sols contaminés (**Suthersan, 2001**). Cette technique est basée sur la capacité de certaines plantes à prélever des métaux du sol, les transporter et les concentrer dans leurs parties aériennes, qui seront ensuite récoltées et traitées (**Raskin et al., 1996**).

Les *Tamaricacées* est une famille du clade des Caryophyllales qui appartient aux eudicots vrais selon la nouvelle classification des angiospermes (**APG, 2003**), et dans l'ancienne classification cette famille appartient à l'ordre des Violales (**Anderson, 2005**). Les espèces de cette famille sont des plantes ligneuses : arbustes, rarement arbres ou herbes avec

des branches minces, la plupart d'entre eux sont des halophytes et rarement des xérophytes (Ahmed, 1994). Les *Tamaricacées* possèdent un grand intérêt en tant que plantes conservatrices des sols arides et semi-arides contre les différents phénomènes physiques d'érosion. Le *Tamarix* représente l'espèce à caractère typique des plantes thermo-xérophytes (Ghezlaoui, 2011).

En conséquence, à l'origine, cette étude avait pour objectif l'étude de quelques réponses morphologiques et physiologiques au mécanisme de tolérance de plantules de *Tamarix articulata* placées en conditions de stress induit par le sulfate de zinc ($ZnSO_4$) afin de valoriser la plante et dans le but de son utilisation en phytoremédiation. En raison des conditions sanitaires qui prévalent et ce depuis le mois de Mars 2020, notre expérimentation s'est vue arrêtée à cause de la fermeture des laboratoires et du confinement. Pour ce faire, ce mémoire traitera normalement les différentes parties d'un projet de fin d'étude, nous présenterons la partie réalisée sur terrain et au laboratoire juste avant le confinement et nous compléterons notre étude par une synthèse bibliographique (l'état de l'art) des travaux réalisés sur la thématique chez *T. articulata*.

Ce présent document comporte :

- **Une première partie, sous forme de** synthèse bibliographique, structurée en trois chapitres, précédés par une introduction :
 - ✚ Un premier chapitre consacré aux généralités sur le genre *Tamarix* et des études précédentes faites sur le *Tamarix articulata*
 - ✚ Un deuxième chapitre qui retrace les connaissances actuelles sur les métaux lourds et le zinc ;
 - ✚ Un troisième chapitre sur la phytoremédiation.
- **Une deuxième partie, qui** décrit le matériel et les méthodes utilisées pour la partie réalisée sur terrain et au laboratoire, suivie d'une conclusion.



Synthèse bibliographique



Chapitre I: Description de l'espèce étudiée *Tamarix articulata*

I. Caractères généraux de la famille des Tamaricacées

Selon l'A.P.G. (2003), la famille *Tamaricacées* se positionne dans le clade des Caryophyllales dans le phylum des Angiospermes.

La famille des *Tamaricacées* regroupe 112 espèces, endémiques des régions de l'Eurasie et de l'Afrique, et introduites dans d'autres régions telle que l'Amérique du Nord.

Ces espèces sont réparties en quatre genres :

- *Reaumuria* avec 15 espèces ;
- *Tamarix* avec 85 espèces ;
- *Myricaria* avec 10 espèces, et enfin
- *Hololachna* avec 2 espèces (**Wilken, 1993**).

En Afrique du nord, Ozenda(1991) a cité une vingtaine d'espèces de *Tamarix*.

Les *Tamaricacées* sont généralement des feuilles petites alternes, souvent sessiles, rarement subsessiles, éricoïdes, dotées de glandes qui secrètent des sels.

L'inflorescence axillaire solitaire (Reaumurieae) ou simple composée de racèmes, en épis ou solitaires (*Tamaricaceae*).

Les fleurs sont souvent petites, bisexuelles et rarement unisexuelles, actinomorphes, bractéoles, penta ou tétramères (**Caiser, 1976**).

Sépales et pétales imbriqués. Etamines 5 ou plusieurs, insérées sur un disque nectarifère, libres ou unies à la base (Figure 1).

Gynécée 5-2 carpellé avec autant de stigmates libres, à placentation pariétale ou pariétale-basale.

Ovules de 2 à n, anatropes, ascendants.

Le fruit est une capsule loculicide.

Graine barbue entièrement ou seulement au sommet, rarement ailée, albuminée ou non, à embryon droit (**Crins, 1989**).

II- Description du genre *Tamarix*

II-1- Historique

Le *Tamarix* est connu depuis longtemps, il est cité dans le Coran sacré sous le nom d'Athal (Surat Saba, verset 31). Le nom *Tamarix* dérive du nom d'une rivière en Espagne appelée « Tamaris », à la frontière des Pyrénées, où les espèces de *Tamarix* colonisent ses

proximités. Le terme *Tamarix* est adopté la première fois par Linné en 1753-1754, où il a cité seulement deux espèces dans son « herbier » (Baum, 1967).

II-2- Les synonymes de *Tamarix* :

- Nom français : Tamaris, Tamarin
- Nom anglais : Salt Cedar, Tamarisk
- Nom arabe : Athal, Tarfa
- Nom amazigh : Amammythe

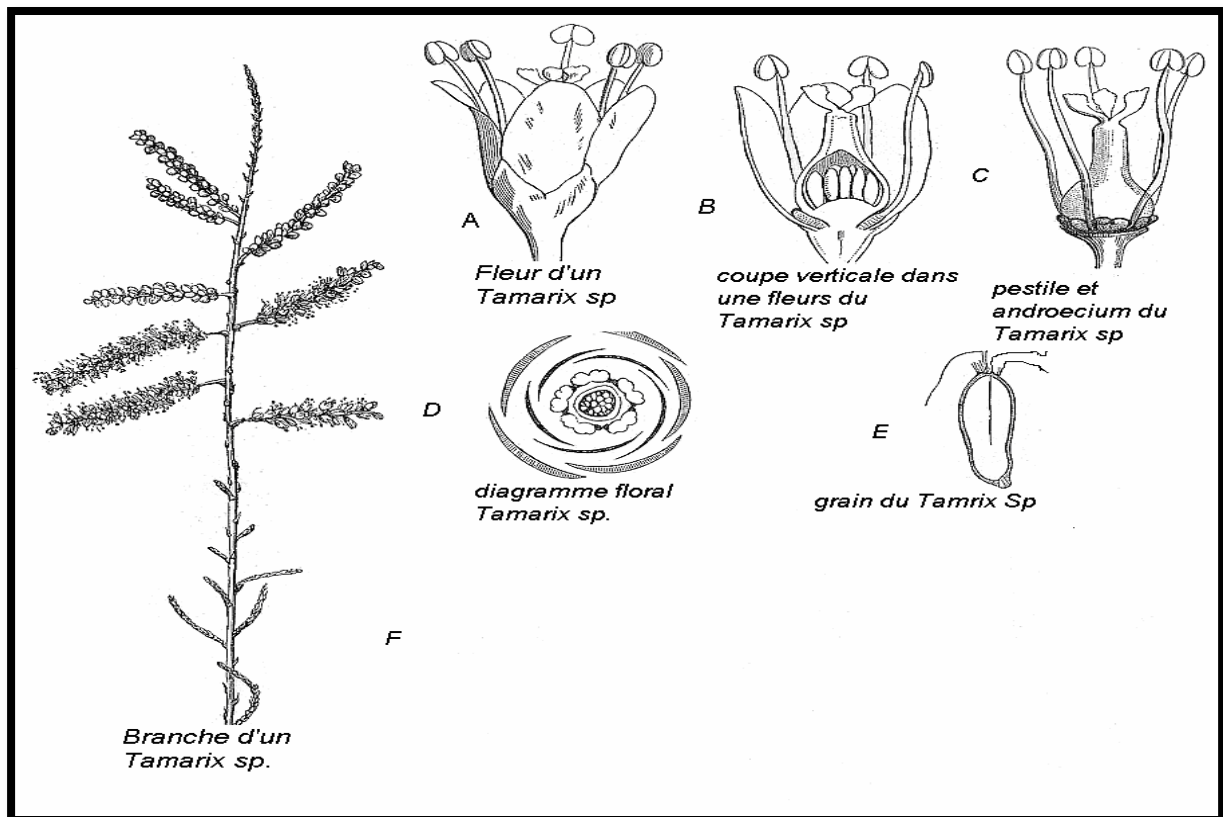


Figure 1: Les principaux caractères botaniques de la famille des *Tamaricacées* (Khabtane, 2010)

II.3. Généralités sur le genre *Tamarix*:

Arbre ou arbrisseau ornemental au feuillage fin fréquent dans les terrains salés, caractérisés par de petites feuilles écailleuses (La rousse, 1996), appartenant à la famille des *Tamaricacées* (Ozenda, 1991). En Algérie, peu de travaux ont été menés sur la détermination

des espèces du genre *Tamarix*, la seule révision du genre est celle de Battandier (1907) qui évalue 11 espèces de *Tamarix*.

Nous reprenons, ici, les espèces citées par **Ozenda (1983)** :

*Tamarix aphylla*Karst, *T.orientalis*Forsk,*T. pauciovulata*, *T. Balansae* J.Gay, *T.gallica*L., *T. nilotica*Ehrbg, *T.manifera*, *T.getula*Batt., *T. speciosa*Ball,*T. Malenconiana*Maire, *T. brachystili*J.Gay.

II-4-Aire de répartition du genre *Tamarix*

Le genre *Tamarix* est représenté par des espèces phreatophytes facultatives et généralement halophytes. Originaire des régions d'Europe, de la Méditerranée, de l'Afrique du Nord, du Sahara et de l'Asie; les espèces du *Tamarix* sont considérées comme espèces envahissantes en Amérique du Nord et en Australie (**Nelroy, 1996**).

III. Caractères botaniques et biologie du genre *Tamarix*

III. 1. Caractères botaniques

III. 1. 1. La forme générale

Arbres ou arbustes de 2-10m de hauteur, quelques fois 12m, avec un système racinaire puissant, une ramification dense. Il a deux formes de croissance, l'une normale et lui donne un aspect d'un arbre ordinaire avec une tige principale quand il existe dans des milieux normaux ; la seconde se caractérise par une ramification abondante quand les pieds se trouvent dans un milieu stressant ou dans le cas d'accumulation des sédiments alluviaux (**Daniel, 2007**).



Figure 2: Forme ramifiée du genre *Tamarix articulata* ([https:// www.teline.fr.](https://www.teline.fr))

III. 1. 2. Les rameaux

Ils sont généralement nombreux, minces, glabres, ou écorces de différentes couleurs : souvent marron ou marron noirâtre. (Cherfaoui et Ziane, 2012)

III. 1.3. Les feuilles

Sont petites de 0,5 à 0,7mm de long, écailleuses, souvent imbriquées, alternées, donnant aux rameaux l'apparence de ceux de certains Genévriers, sessiles, glabres. Elles sont souvent ponctuées de minuscules trous correspondant à des entonnoirs au fond desquels se trouvent placés les stomates et par où exsude un mucus contenant du sel et du calcaire. Elles sont caduques chez certaines espèces et persistantes chez d'autres (Wilkinson, 1966). Selon les espèces on distingue les formes suivantes:

1- Feuilles formant un fourreau complet autour des rameaux, de sorte que ceux-ci paraissent articulés et dépourvus de feuilles (exemple : *T.aphylla*)(Ozenda, 1991).

2- Feuilles étroites ou larges, embrassant le rameau, mais ne l'entourant pas complètement :

2-1- Feuilles larges très embrassantes, imbriqués, très serrées sur les jeunes rameaux, et portant des ponctuations bien visibles :

A) feuilles plus larges que longues, exemple : *T.pauciovulata* ;

B) feuilles un peu plus longues que larges, à pointe aigue recourbée en dehors (exemple :

T.balansae);

2-2 - Feuilles allongées non ou peu embrassantes, moins imbriquées à ponctuation peu visible (exemple : *T.gallica*).



Figure 3 : Exemple des feuilles plus larges que longues chez *Tamarix L* (www.snv.juussieu.fr).



Figure 4: Exemple des feuilles plus larges que longues chez *Tamarix pauciovulata* (khabtane ,2010)

III. 1. 4. Les fleurs

Les fleurs sont petites généralement moins de 2mm de diamètre, penta ou tétramères, souvent bisexuelles, rarement unisexuelles (photo 04). Les fleurs sont régulières à sépales très petits et pétales scarieux roses, rarement blancs. Les étamines, en nombre égal à celui des pétales ou en nombre double, sont insérées sur les bords d'un épaississement de l'axe de la fleur appelé disque floral dont la forme est utilisée dans la détermination et la classification des espèces du *Tamarix* (Figure 5) (Tomaso, 1996).

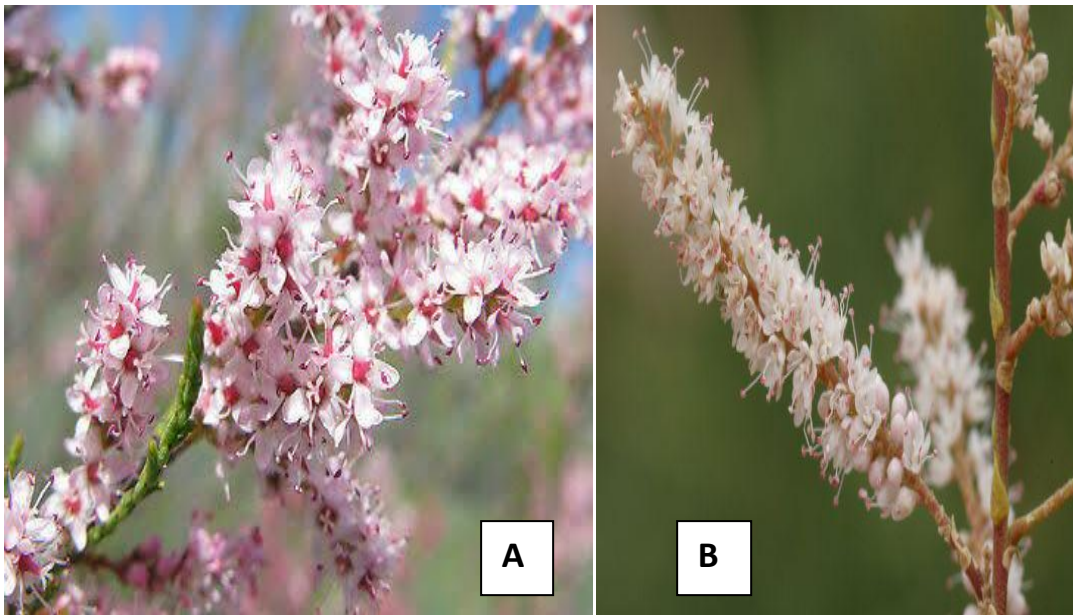


Figure 5: Inflorescence chez : (A) *Tamarix gallica*, *Tamarix africana*, (B) (<https://images.app.goo.yl/xhkz7qu7>.)

III. 1. 5. Les graines

Le *Tamarix* peut donner des graines dès sa première année mais, généralement, il donne des graines à partir de la troisième année ; Les graines sont petites avec une touffe des cheveux blonds sur l'extrémité pour faciliter leur dispersion par le vent ou de flotter sur l'eau où elles sont déposées (Brotherson et champ, 1987). Leur forme est variable d'une espèce à une autre (Figure 6). La graine de *Tamarix* est quelque peu cylindrique et très petite (Baker, 1972).

Les graines de *Tamarix* sont caractérisées par l'absence de la dormance, mais avec une durée de vie très courte : par exemple les graines produites en été ne vivent que 45 jours (7 semaines) dans les conditions idéales du milieu, mais si les conditions sont défavorables (plaine soleil, sécheresse), cette durée de vie ne dépasse pas les 24 jours. Par contre les graines produites en début d'hiver peuvent vivre 130 jours (19 semaines) dans les conditions idéales du milieu ; Un plant mûr de *Tamarix* peut produire 500.000 à 600.000 graines à chaque saison de fleuraison (Wilgus and Hamilton, 1962).

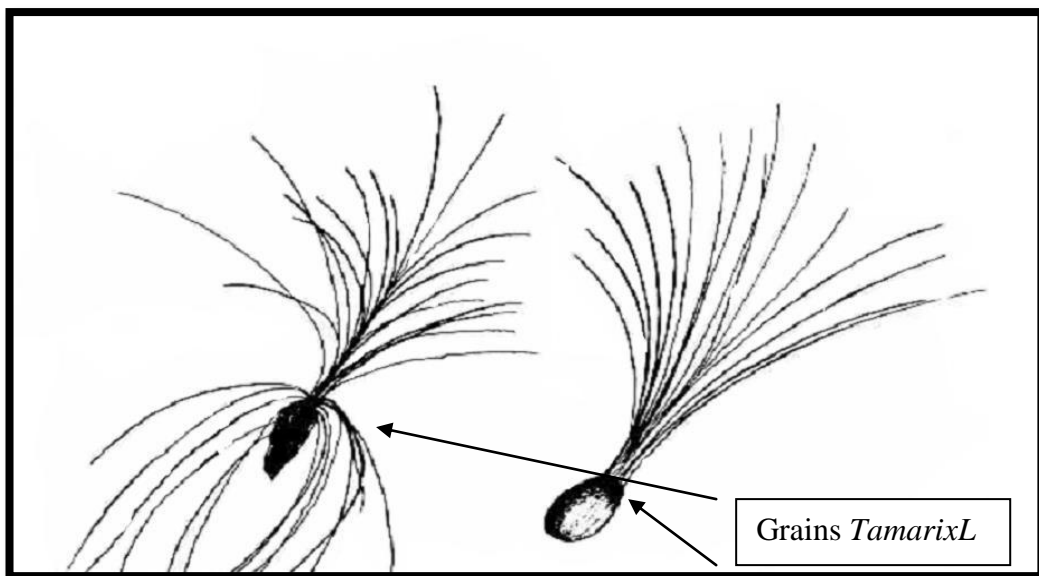


Figure 6:La forme des grains de certaines espèces du genre *Tamarix* L.(Lefhal,2014)

III. 1. 6. Le système racinaire

Le *Tamarix* est doté d'un système racinaire puissant et adapté pour l'acquisition de l'eau de la nappe ou les eaux superficielles même dans les sols manquant d'humidité où il a été rapporté que la racine principale peut atteindre une profondeur de 53m (Waisel et Kafkafi, 1996). Pour déterminer les variations de profondeur des racines, de leur développement latéral et le degré de leur ramification, Tomanek et Ziegler (1960) ont réalisé des excavations pour 35 plantes de *Tamarix*, d'âge variable, de quelques jours à quatre ans où ils ont constaté les cas suivants:

- des racines principales qui se prolongent en profondeur jusqu'à ce qu'ils arrivent au-dessus d'une source constante de l'eau où ces racines se ramifiaient pour qu'elles puissent absorber plus d'eau par capillarité ;
- des racines qui n'avancent pas en profondeur formant un système racinaire adventif dans le cas où la source de l'eau est plus proche de la surface ;
- dans le troisième cas où il existe deux sources d'eau dans le sol ; l'une superficielle (en saison des pluies) et la seconde plus profonde (en cas de sécheresse prolongée), le *Tamarix* développe un système racinaire qui lui permet l'acquisition de l'eau dans les deux situations en formant des ramifications superficielles pour bénéficier de l'eau de surface pendant la saison humide et en même temps une racine qui se prolonge en profondeur pour assurer l'acquisition de l'eau de profondeur pendant la saison sèche.

Ces résultats ont permis à ces deux chercheurs de constater que le facteur de détermination dans la formation et le développement de la racine et de sa ramification peut probablement être l'endroit et la profondeur de la nappe de l'eau. Selon Tomanek et Ziegler (1960) ce sont les conditions environnementales qui laissent le *Tamarix* développer un système racinaire répandu et profond. Ils ont trouvé des racines latérales écartées de 9.14m par rapport à l'axe de la plante et la plupart des racines étaient de 3.04cm à 4.06cm au-dessous de la surface du sol. Sur une autre plante excavée la racine pivotante s'est prolongée à 4.87m de profondeurs et de 0.47cm de diamètre. Bien qu'ils n'aient pas déterminé la profondeur totale des racines, mais ils l'ont estimée être de 7.62m ou plus.

IV. Caractéristique du *Tamarix articulata* L

Tamarix articulata, également appelé farash, est un de taille moyenne d'arbre avec un feuillage plumeux et une tige dressé généralement atteindre une hauteur de 40-50 pieds et la circonférence de 5 à 6 pieds. Il croit plus rapidement que toutes autres espèces dans le tractus arides (**Gupta et Ishwar, 1977**).



Figure 7 : la forme générale chez *Tamarix articulata* (original ; djelfa, 2020)

IV.1.Description botanique:

a- Ecorce: rugueuse, marron à gris foncé, profondément crevassée, fissuré, feuillage retombant, vert glauque.

b- Feuilles: petites écailleuses imbriquées formant un fourreau autour des rameaux, de sorte que ceux-ci paraissent articulés et dépourvus de feuilles, ponctuée de minuscules trous correspondant à des entonnoirs au fond des quels se trouvent placées des stomates et par lesquelles exsude un mucus contenant du sel.

c- Fleurs: groupées en chatons grêles avec 5 étamines sur les jeunes pousses, petites 1.5 à 3mm, ovaire libre à 3 stigmates, portant des fleurs blanches ou roses.

d- Fruits: une capsule conique d'environ 3mm.

e- Graines: contenues dans une capsule ornée d'une aigrette.

f- Tronc: unique robuste n'est pas mutilé. Hauteur 12-15m, diamètre environ 2m.

g- Inflorescences: en grappes denses sont réunis au sommet des jeunes tiges, floraison automne (Ozenda, 1991).

IV.2.Classification:

Le *Tamarix articulata* (L.) karst est l'espèce la plus facile à distinguer parmi les nombreuses espèces de *Tamarix* existantes. Il a reçu plusieurs noms : le plus ancien est *Tamarix alte* P. Alp. qui fut donné par le naturaliste italien Prospero Alpini en (1735 in Trabut, 1927) cette dénomination a été ensuite changée par LINNE, qui ne disposant que d'un rameau stérile, le rapport au genre *Thuya* et donc l'appela *Thuya aphylla* L ; bien que cette nomination a la priorité, elle a cependant été contestée à cause de l'erreur du genre ce qui fait que la dénomination *Tamarix articulata* Vahl est celle que l'on adopte généralement.

Espèce saharo-indienne, on la rencontre en Egypte au Sahara septentrional central et méridional, elle est absente au Sahara occidental (Sahki, 2004). Selon Guollaumi (1964) sa classification est :

Sous classe : Archichlamydées

Ordre: Parlétales

Sous ordre : Tamariscinées

Famille: *Tamaricacées*

Genre: *Tamarix*

Espèce: *Tamarix aphylla* L. karst.

IV.3.Distribution et climat

T. articulata L. se rencontre dans toutes les régions désertiques, témoins de sa grande résistance aux conditions du milieu. Selon Aubert (1975), lors de creusement du canal de Suez, on aurait trouvé des racines de *Tamarix* à 30m de profondeur. Selon Quezel (1965), la nappe phréatique des sols qu'il colonise varie entre 7 et 8m, la taille de certains d'entre eux est surprenant pour des conditions climatiques aussi rudes que sont celles de leur milieu.

Le *Tamarix articulata* est un arbre qui existe dans toutes les régions désertiques. Il résiste bien aux températures les plus fortes qu'aux températures les plus basses (Allaoui, 1991 in Mehani, 2006).

T.articulata supporte dans la vallée du Draa et au Tafilelt des températures variant entre 47°C et 50°C. Il résiste aussi, au froid qui peut atteindre -5°C en hiver, dans la vallée sud du grand Atlas. L'arbre est bienadapté aux régions sahariennes où la pluviosité moyenne annuelle est inférieure à 100mm (Alaoui, 1991in Mehani, 2006), comme dans la région de Tamanrasset où celle-ci atteint à peine 47,3mm. Pour résister à la sécheresse, l'arbre puise de l'eau de l'atmosphère grâce à ses glandes d'origines épidermiques qui sécrètent du sel sur lequel l'eau se fixe la nuit et forme des gouttelettes qui sont absorbées par l'arbre (**Trabut, 1927**).

IV.4. Sol:

T.articulata préfère les terrains sablonneux très peu salés, plutôt dans le lit d'oueds (Chehma, 2006). Il résiste à la salinité, aussi bien, du sol (qui peut varier de 16 à 27mmhos/cm²) qu'à celle de l'eau et celle de l'air, apportée par les vents marins. Il est aussi réputé pour être une espèce qui sécrète du sel (**Alaoui, 1991**).

IV.5.Multiplication:

Bonne régénération naturelle, par rejets de souches et par semis, il se multiplie facilement par boutures sans traitement particulier, le pourcentage de réussite dépasse les 80%. Vu la petite dimension des fruits, la récolte s'avère difficile ; Les graines nommées takorm est, ressemblant à des pois chiches, sont ramassées sur le sol par les femmes nomades et utilisées pour tanner les peaux. Ces graines sont en fait la galle d'un petit papillon, *Amblyopies olivierella* qui provoque sur les rameaux des renflements très durs pouvant atteindre 30mm de diamètre sur 40mm de longueur (**Alaoui, 1991**).

IV.6. Utilisation:

Excellent bois d'artisanat pour la confection de piquets de tentes et de nombreux objets: assiettes, cuillères, mortier, pilon, selles de dromadaires, etc. Il est également utilisé comme bois de chauffage, qui est d'ailleurs, peu apprécié car il dégage, en brûlant, beaucoup de fumée. La galle du tamarix tanne le cuir en 5à 6 jours et sert à soigner la galle des dromadaires. La rapidité de croissance du *T. articulata* et sa résistance aux vents de sable font de lui un bon brise-vent, particulièrement sur les sols peu salés, et pour la protection des

berges et digues. Il est communément utilisé pour la fixation des dunes dans les lits d'oueds du Sahara central, contribuant ainsi à la lutte contre la désertification (Sahki, 2004).



Figure 8: Fleurs de *Tamarix articulata*(www.teline.fr)



Figure 9: Feuilles et graines de *Tamarix articulata*(www.teline.fr)



Chapitre II : Généralités sur les métaux lourds

I. Métaux lourds

I.1. Généralités sur les métaux lourds

Les métaux lourds (éléments traces métalliques) sont parmi les plus toxiques des contaminants du sol. En très faibles quantités, certains sont indispensables au métabolisme des êtres vivants, mais nuisent à leur santé à fortes doses, c'est le cas du cuivre et du zinc par exemple. D'autres, qui ne sont pas indispensables, sont au contraire toxiques même à des faibles doses, c'est le cas du plomb, du cadmium et du mercure. Les fortes concentrations de métaux lourds induisent des phénomènes de phytotoxicité chez les plantes et ont des effets négatifs sur la flore et la faune du sol et contaminent l'eau. L'activité industrielle en général les rejette sous forme de poussières ou d'aérosols, retombant à proximité des sites émetteurs. Les métaux lourds sont également véhiculés sur de longues distances par les courants atmosphériques avant de rejoindre le sol. La pollution par les métaux lourds, issue de la transformation des combustibles fossiles a plutôt un caractère diffus. Les transports routiers en rejettent dans l'atmosphère et en bordure des routes. L'épandage des boues d'épuration et des composts à des fins agricoles en transfère directement dans les sols (**Dufay, 2001**).

Les métaux lourds désignent des composés métalliques qui ont une masse volumique supérieure à 5 g/cm^3 . À l'exception du mercure qui est principalement sous forme de gaz, tous les autres métaux lourds (plomb, arsenic, cadmium, nickel, zinc, manganèse, etc...) sont associés à des aérosols c'est-à-dire des petites particules liquides et/ou solides en suspension dans l'air (**Scal, 2015**).

I.2. Définition

Un métal est un élément chimique dont la masse volumique dépasse 5 g/cm^3 , bon conducteur de chaleur et d'électricité, ayant des caractéristiques de dureté et de malléabilité, se combinant aisément avec d'autres éléments pour former des alliages utilisés par l'homme depuis l'antiquité. Dans le sol, un métal sera défini comme un élément chimique qui peut former des liaisons métalliques et perdre des électrons pour former des cations. Ceux-ci sont présents le plus souvent dans l'environnement sous forme de traces : Mercure, Plomb, Cadmium, Cuivre, Arsenic, Nickel, Zinc, Cobalt, Manganèse. Les plus toxiques d'entre eux sont le Plomb, le Cadmium et le Mercure (**Lacouet Thomas, 2007**).

I.3. Les sources de métaux lourds :

I.3.1. Les sources naturelles :

Le fond pédogéochimique naturel (FPGN) est la concentration d'un élément chimique dans un sol (que ce soit un élément majeur ou un ETM) résultant des évolutions naturelles, géologiques et pédologiques, en dehors de tout apport d'origine humaine (**Baize ,1997**).

Les ETM peuvent être naturels, le sol contient des ETM issus de dégradation et d'altération de la roche mère à partir de laquelle il s'est formé ou par des apports sédimentaires. Les sols formés sur des sables quartzeux contiennent des quantités d'ETM extrêmement faibles, alors que ceux qui sont formés sur des sédiments calcaires ou marneux, ou des schistes, ont des concentrations d'ETM plus importantes (**Sposito, 1989**).

I.3.2. Les sources anthropiques

La quantité d'ETM issue des apports anthropiques est également très importante. D'après **Robert et Juste(1999)**, la principale source d'ETM dans les zones urbaines est l'activité industrielle et la circulation de différents moyens de transport. Les principales sources industrielles d'émissions atmosphériques de micropolluants métalliques sont les usines d'incinération, les hauts fourneaux, la combustion du charbon et du pétrole. L'utilisation de matières fertilisantes et de pesticides ont contribué, ou contribuent encore, de manière importante à la contamination des sols agricoles, ainsi que l'épandage des déchets et des boues (**Matthiessen et al, 1999**).

I.4. Classification biologique des métaux lourds

La classification des métaux lourds est souvent discutée, car certains métaux toxiques ne sont pas particulièrement «lourds » comme le zinc. D'un autre côté, certains éléments ne sont pas des métaux mais des metalloïdes comme le cas de l'arsenic.

Pour ces différentes raisons, la plupart des scientifiques préfèrent à l'appellation métaux lourds celle de « éléments en traces métalliques » (ETM), où par extension éléments traces (**Miquel, 2001**).

I.4.1. Les éléments traces essentiels

Les métaux essentiels sont des éléments indispensables, à l'état de traces, pour de nombreux processus cellulaires et qui se trouvent en très faible proportions dans les tissus biologiques (**Loué, 1993**). Ces oligoéléments doivent répondre aux critères fixés par Cotzias (1967) :

- ❖ Etre présent dans les tissus vivants à une concentration relativement constante;
- ❖ Provoquer, par leur absence dans l'organisme, des anomalies structurelles et physiologiques ;
- ❖ Prévenir ou guérir les troubles par l'apport de ce seuil d'élément.

I.4.2. Les éléments traces non essentiels

Les métaux non essentiels n'ont aucun effet bénéfique connu pour la cellule mais présentent un caractère polluant avec des effets toxiques pour les organismes vivants même à faible concentration, c'est le cas du plomb (Pb), du mercure (Hg) et du cadmium (Cd) (**Chiffolleau, 2004**).

I.5. Rôle des Métaux lourds

Les métaux présents dans l'eau et l'environnement terrestre sont des éléments nécessaires au fonctionnement normal des plantes et des animaux. Ils jouent un rôle important dans :

- La transformation de la matière, principalement dans les mécanismes enzymatiques (**Verbanck et Guemaz, 2006**).
- Aussi du fait de leur toxicité, ils sont également employés, ou l'ont été, pour la protection des cultures (pesticides), dans des peintures de coques de bateaux, etc. (**Stengel et Gelin, 1998**).

I.6. Impacts des métaux sur les végétaux

Parmi l'ensemble des ETM, une vingtaine (N, S, Cu, Zn, Ni, Fe, Co, Se, etc.) d'entre eux sont indispensables aux processus physiologiques majeurs, tel que la respiration, la photosynthèse, l'expression des gènes, la biosynthèse des protéines, des acides nucléiques, des substances de croissance, de la chlorophylle, des métabolites secondaires, le métabolisme lipidique ou la tolérance au stress (**Michel, 2009**).

D'autres ETM (Hg, Cr, Ni, Pb et Cd) sont considérés comme des poisons cellulaires pour lesquels les doses admissibles sont très faibles. Ils peuvent être bio accumulés dans les tissus des plantes et induire des perturbations au niveau de leur métabolisme. L'effet toxique de ces éléments varie selon le type de métal présent, sa concentration dans la plante, le temps d'exposition et selon l'espèce végétale affectée (Michel, 2009).

Les interférences d'avec plusieurs mécanismes peuvent être résumées comme suit :

- **Absorption des nutriments du sol** : les ETM présents dans le sol sous forme de cations (Cd^{+2} , Cr^{+6} , Cu^{+2} , Ni^{+2} , etc.) peuvent entrer en compétition avec d'autres cations du sol qui servent normalement de nutriments essentiels pour la plante (Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , etc.), entraînant de facto leur absorption. Comme exemple, l'absorption de cadmium pourrait engendrer une moins grande assimilation de potassium, à la suite de l'effet de compétition, provoquant ainsi une carence de ce nutriment (Anonyme, 2003).
- **Photosynthèse** : les ETM provoquent une diminution de la concentration en chlorophylles par dégradation des membranes des thylakoïdes. Ils induisent aussi, une baisse de l'efficacité de la photosynthèse à la suite d'une altération du transport des électrons et d'une perturbation des enzymes du cycle de Calvin (notamment l'activité de l'enzyme Rubisco) (Anonyme, 2003).
- **Statut hydrique** : une exposition aux ETM réduit le taux d'hydratation des cellules ainsi que la turgescence (Shuiping, 2003). Au cours de ce processus, l'impact des ETM sur les propriétés physiques des parois cellulaires peut être mis en cause dans l'inhibition de l'extensibilité pariétale (Zheng et al., 2003).
- **Germination** : les ETM réduisent les taux de germination des semences végétales. Le nickel par exemple, affecte l'activité de plusieurs hydrolases, amylases, ribonucléases et protéinases), ce qui retarde la germination. Le cadmium, pour sa part, induit des dommages aux membranes des semences, en plus de diminuer les réserves de l'embryon contenues dans les cotylédons (Shuiping, 2003).
- **Division cellulaire** : les ETM perturbent la division cellulaire des végétaux. Ainsi, le cadmium, le mercure et le plomb ont la capacité d'endommager le nucléole et d'inhiber les activités enzymatiques DNAase et RNAase, ce qui provoque une interruption de la synthèse de l'ADN (Shuiping, 2003).

- **Croissance** : une plante peut voir sa croissance réduite et afficher des signes de chloroses, résultant à la fois d'une perte de chlorophylle et d'une carence en fer. Des nécroses sont également observables lors d'intoxications plus graves (**Shuiping, 2003**).
- **Induction d'un stress oxydatif** : le rôle des ETM dans la formation des espèces réactives d'O₂ est lié à leur capacité à exister sous différents états d'oxydation. En effet, les cations d'éléments comme le Fe, Cu, Cr ou Mn sont capables de céder un ou plusieurs électrons susceptibles de réduire l'O₂ et ses dérivés. Les radicaux libérés (radical hydroxyl, peroxyde d'hydrogène, anion superoxyde, etc.) sont de puissants agents oxydants qui altèrent toute une série de substrats biologiques importants (enzymes, ADN et lipides membranaires), avec comme conséquence la modification des domaines fonctionnels des biomolécules (**Devi et Prasad ,1999**).

II. Le zinc

II.1. Présentation du zinc

Le zinc est un élément chimique de symbole Zn et de numéro atomique 30. Il appartient au bloc des éléments de transition du tableau périodique. Le zinc possède 5 isotopes : ⁶⁴Zn, ⁶⁶Zn, ⁶⁷Zn, ⁶⁸Zn et ⁷⁰Zn, Les sources naturelles du zinc sont l'altération de roches, le volcanisme et la végétation. Des statistiques ont montrées que les sources naturelles ne représentent que 7% des émissions totales du zinc dans l'environnement , la production et le traitement des minerais ainsi que les activités industrielles représentent respectivement environ 75% et 18% des émissions du Zn dans le milieu naturel (**Mouni et al.,2013**).

II.2. Caractéristiques physico-chimiques du zinc

Avec une masse atomique de 65, le zinc est classé dans le groupe des éléments de transition IIB. C'est un métal blanc, légèrement bleuâtre et brillant, à texture hexagonale, et à cassure cristalline lamellaire. Moyennement réactif, il se combine avec l'oxygène et d'autres non-métaux, et réagit avec des acides dilués en dégageant de l'hydrogène. L'état d'oxydation le plus commun du zinc est +2 Les principales caractéristiques physico-chimiques du zinc sont données dans le tableau suivant. (**Bouchelkia et Fellahi ,2014**).

II-2.1. Propriétés physiques du zinc

Le zinc est un métal blanc bleuté, brillant lorsqu'il est poli. De dureté faible à moyenne à température ambiante, il devient malléable et ductile lorsqu'il est chauffé (entre 100 °C et 150 °C), fragile, cassant et pulvérisable à 210 °C. Le zinc est stable à l'air sec, mais se couvre d'une pellicule blanche de carbonate lorsqu'il est exposé à l'air humide (**Inrs ,2012**).

II.2.2. Propriétés chimiques du zinc

Chauffé à des températures élevées, le zinc brûle avec émission de fumées bleu-verdâtre d'oxyde de zinc. La poudre de zinc peut s'enflammer spontanément en présence d'humidité. À température ordinaire et en atmosphère parfaitement sèche, le zinc pur est stable. L'oxydation ne commence d'une manière sensible que vers 225 °C. En présence d'humidité, dès la température ordinaire, le zinc se recouvre d'une mince couche de carbonate basique qui protège le métal contre une corrosion plus poussée. Il peut être attaqué lentement par l'acide sulfurique et l'acide chlorhydrique dilués avec dégagement d'hydrogène : la réaction est favorisée par la présence d'impuretés dans le métal telles que le cuivre, le fer, le nickel. Le zinc réagit lentement avec l'ammoniaque et l'acide acétique, plus rapidement avec l'acide nitrique (avec formation d'oxydes d'azote et parfois d'azote). Il est insensible à la plupart des substances organiques, à condition que celles-ci soient exemptes d'acidité et d'humidité. La poudre de zinc peut réagir de manière explosive avec divers produits : soufre, chlorates, chlorures, fluorures, nitrate de potassium (**Inrs ,2012**).

II.3. Usages du zinc

Le zinc est utilisé au sein de l'industrie pharmaceutique comme supplément alimentaire pour le traitement des carences et des dermatoses. Il intervient dans le corps humain pour le maintien des fonctions immunitaires, la coagulation sanguine, la cicatrisation, le fonctionnement de la glande thyroïde et la spermatogénèse (**Gauthier, 2016**).

Il sert à la fabrication d'agents conducteurs pour l'équipement électrique et électronique. On l'emploie également dans la construction, où il est un constituant des toitures, dans l'industrie automobile et pour les chemins de fer. Ses composés permettent de fabriquer des plastiques, des pigments, des lubrifiants, des pesticides et des fongicides. En

agriculture, des suppléments de zinc sont fréquemment apportés aux cultures, particulièrement au maïs qui est très sensible à une carence de cet élément (**Inrs ,2012**).

La principale utilisation du zinc est la galvanisation des aciers : le dépôt d'une mince couche de zinc en surface de l'acier le protège de la corrosion. La galvanisation consomme 47 % du zinc exploité dans le monde. L'acier galvanisé est utilisé dans l'automobile, la construction, l'électroménager, les équipements industriels, etc. Le laiton – alliage de cuivre et de zinc – et le bronze – alliage de cuivre et d'étain, auquel on ajoute parfois du zinc – consomment 19 % du zinc. Les alliages de zinc, tel le zamak, pour pièces moulées (automobile, équipements ménagers, pièces industrielles...) représentent 14 % de sa consommation, les produits chimiques, 9 %, et les autres applications (dont les plaques et pièces pour toiture), 11 % .Il est aussi utilisé en agriculture (**Anonyme, 2007**), comme apport d'oligo-élément, essentiellement en zone de sols fortement calcaires. Des symptômes d'insuffisance apparaissent aussi sur la plupart des arbres fruitiers. Les apports, préventifs ou curatifs, se font sur le sol ou par pulvérisation foliaire (**Matia ,2008**).

II.4.Toxicité du zinc

Le zinc est un oligo-élément nécessaire pour diverses fonctions cellulaires et enzymatiques chez les humains, les animaux et les plantes. Dermatitis, retards de croissance, mauvaise cicatrisation des tissus, systèmes immunitaire et reproducteur déficients, malformations congénitales et états dépressifs peuvent être reliés à une carence en zinc. À l'inverse, l'excès de zinc est également toxique pour les êtres vivants. Chez l'humain, les voies d'exposition sont l'ingestion (par la nourriture), l'inhalation (vapeurs en milieu de travail) et le contact cutané (cosmétiques). Le chlorure de zinc ($ZnCl_2$), l'oxyde de zinc (ZnO), le sulfure (ZnS) et le sulfate de zinc ($ZnSO_4$) sont les composés les plus étudiés en matière de toxicité du zinc. La quantité de zinc absorbée par l'organisme dépend de la taille et de la solubilité des particules. Lorsqu'il est absorbé, le zinc est transporté par le plasma sanguin. Il se complexe avec des ligands organiques du corps et devient facilement échangeable, lui permettant de se répondre de façon non-sélective dans différents organes et tissus. Parmi les effets d'une exposition excessive au zinc, on retrouve des malaises gastro-intestinaux, des irritations pulmonaires (fibrose alvéolaire et bronchopneumonie), l'anémie, des dommages au foie et aux reins, des

perturbations endocriniennes et neurologiques, des fausses couches et des cancers (prostate et gonades) (**Gauthier, 2016**).

Le Zn est un élément essentiel pour les organismes vivants. Cependant, il peut être toxique dans certaines conditions. Il est difficile d'établir un seuil général au-delà duquel le Zn est toxique pour les microorganismes du sol. En effet, il existe une grande disparité entre les concentrations en métaux les plus hautes sans effet (ou les plus basses avec un effet) déterminées selon différentes études (facteur 100 ou 1000). Ces disparités peuvent être expliquées par une modification de la toxicité selon les conditions du système étudié et une sensibilité différente selon les organismes étudiés. Dans une même étude, la toxicité est également très variable selon le sol (**Giller et al, 1998**).

II.5. Biodisponibilité

Le Zn est connu depuis longtemps comme un élément nécessaire aux plantes et aux animaux. Sa teneur dans les plantes reflète souvent la quantité disponible dans le sol. Les formes solubles de Zn sont facilement assimilables par les plantes. La vitesse d'absorption dépend largement du genre, de l'espèce et de la variété (450 g de Zn/ha/an pour une culture de maïs, 670 g de Zn/ha/an pour une hêtraie de 130ans) et même des conditions édaphiques. Toutefois, en matière d'absorption du Zn une question reste controversée: l'absorption du Zn est-elle un phénomène actif ou passif, des présomptions sérieuses existent pour penser que l'absorption racinaire est contrôlée par le métabolisme (actif) bien que l'absorption passive puisse également exister (**Adriano, 2001**).

II.6. Rôle du Zn

Le zinc est indispensable pour la croissance et la reproduction normale des plantes. Cet élément est requis en faible quantité afin de permettre, d'une part, le fonctionnement normal de plusieurs voies physiologiques des plantes et d'assurer, d'autre part, l'intégrité structurale et fonctionnelle des membranes. Le Zn a un rôle important dans la régulation de la croissance des plantes et celle de l'expression des gènes. Il intervient aussi dans les différentes voies métaboliques telles que l'activité de phytohormones, la synthèse des protéines, la photosynthèse, le métabolisme des glucides, la défense contre les maladies et aussi dans la fertilité et la production de semence (**Sadeghzadeh, 2013**).

III.Zinc dans la plante

Les plantes sont généralement très tolérantes aux métaux car elles possèdent des mécanismes de protection qui empêchent le métal d'affecter le métabolisme de la plante. Elle capterait et séquestrerait aussi les métaux dans les cellules à l'intérieur de vacuoles ou par des métallothionéines, des protéines capables de s'attacher aux métaux et de désintoxiquer le métabolisme végétal (**Reichman, 2002**). La phytotoxicité du Zn survient lorsque les tissus végétaux accumulent en moyenne plus de 300 mg/kg de Zn, variant entre 44 à 5000 mg/kg selon l'espèce végétale testée, la partie de la plante analysée (racines, feuilles, jeunes pousses, etc.) et la méthode de culture utilisée (**Tambasco et al, 2000**).

Le transport du zinc dans la plante s'effectue grâce à trois mécanismes : l'absorption, la translocation et la séquestration.

III.1.Absorption du zinc par la plante

L'absorption des minéraux est assurée par toute la surface de la plante qui est en contact avec l'eau et ses substances dissoutes. La vitesse d'absorption du zinc, bien qu'elle soit largement dépendante de l'espèce, reste néanmoins déterminée par la composition et la concentration du milieu de croissance. Le Zn est absorbé sous forme de cation divalent (Zn^{2+}) ou sous forme de complexe avec des ligands organiques (**Tsonev et Lidon, 2012**).

III.2.Distribution du zinc dans la plante

Le zinc est plus mobile au sein de la plante que le cuivre, cependant, les racines contiennent de plus grandes quantités que les parties aériennes, en particulier lorsque les apports sont importants. Dans le cas d'une consommation de luxe, le zinc peut être déplacé des racines vers les parties aériennes où ils se concentrent dans les chloroplastes, les vacuoles et les membranes cellulaires. Lors de la translocation, le zinc est chélaté à des acides organiques (**Tremel et Feix, 2005**).

III.3.La translocation du zinc dans la plante

La translocation est le transport des éléments traces métalliques au sein de la plante, des racines vers les autres parties de la plante. Elle peut varier considérablement en fonction du métal, mais également de l'espèce végétale. Le déplacement du zinc des racines vers les parties aériennes est effectué à travers le xylème par circulation de la sève brute (**Marcato,**

2007). La translocation du zinc à travers les vaisseaux du xylème s'effectue par l'intermédiaire des symplastes et apoplastes. Cependant des concentrations élevées de zinc ont été observées dans le phloème, démontrant que ce métal est transloqué à travers les tissus à la fois du xylème et du phloème (Tsonev et Lidon, 2012).

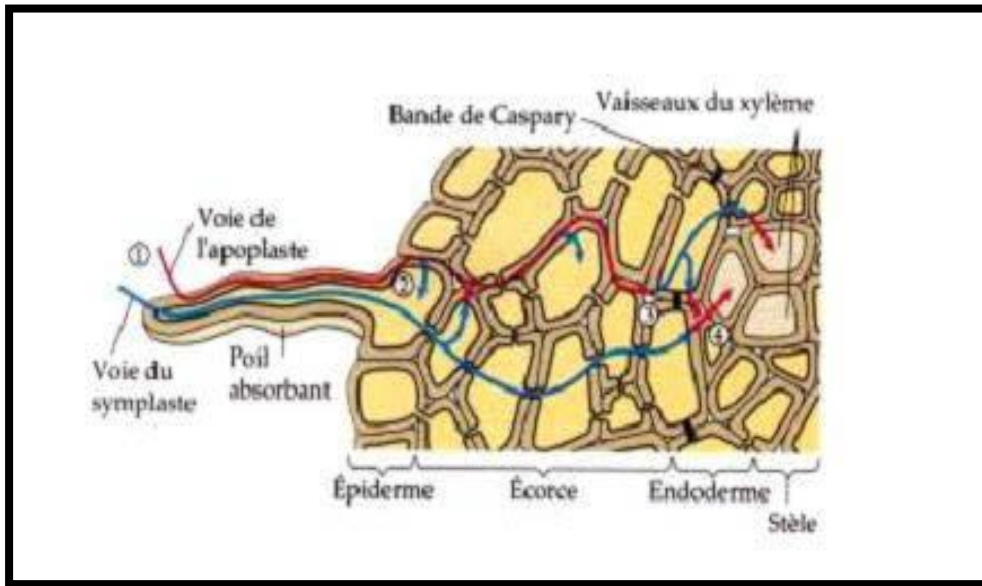


Figure10 : Translocation du zinc à travers les vaisseaux du xylème (Marcato, 2007) ; La translocation du zinc à travers les vaisseaux du xylème s'effectue par l'intermédiaire des symplastes et apoplastes.

III.4.Excès de zinc

D'après Loué (1993), en quantité excessive dans le sol, le zinc peut devenir toxique pour les plantes. La toxicité de Zn concerne généralement des sols acides ou des cultures sur solutions nutritive. L'excès de Zn se traduit par des teneurs en Zn anormalement élevées dans la plante, supérieure à 400ppm, le déséquilibre nutritionnel peut en résulter et il a été démontré que les teneurs des tissus végétaux en P et Fe sont diminuées.

III.5.La carence en Zinc

Le maïs et le lin sont les plantes annuelles les plus sensibles à la carence en zinc. Chez les espèces ligneuses, il faut citer le pommier, le poirier, la vigne...etc., qui présentent en cas de carence de zinc, un symptôme commun qui est : la « maladie des rosettes ». Les entre-nœuds sont raccourcis, les feuilles sont petites, cassantes, à bord ondulé avec parfois des plages

chlorotiques ; elles sont groupées en rosettes. Les feuilles sont petites et déformées (**Coïc et Coppenet, 1989**).

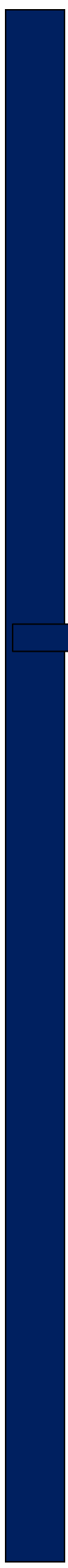
IV.Effet du zinc sur l'environnement

Le zinc est présent naturellement dans l'air, l'eau et le sol aussi de façon non naturelle du fait du rejet de zinc par les activités humaines. La plupart du zinc est rejetée par les activités industrielles, telle que l'exploitation minière et la combustion du charbon. L'eau est polluée en zinc du fait de la présence de grandes quantités dans les eaux usées de la production industrielles. Ces eaux usées ne sont pas traitées de façon satisfaisante. Le zinc peut aussi augmenter l'acidité de l'eau. Certains poissons peuvent accumuler le zinc dans leur organisme lorsqu'ils vivent dans des eaux contaminées en cet élément. Le zinc soluble dans l'eau peut contaminer les eaux souterraines et peut être une menace pour les animaux et pour les plantes. Le fait de l'accumulation de zinc dans le sol, les plantes absorbent souvent des quantités de zinc que leur système ne peut pas gérer. Sur un sol riche en zinc, seul un nombre limité de plantes a des chances de survivre, c'est pourquoi il n'y a pas beaucoup de diversité de plantes. Le zinc est une sérieuse menace pour la production des terres agricoles, mais les engrais contenant du zinc sont toujours utilisés (**Nakib, 2010**).

V.La tolérance

La tolérance aux métaux peut être assurée par plusieurs mécanismes différents, à savoir par :

- ❖ Chélation ou précipitation avec des ligands à haute affinité. Ces derniers sont localisés sur la paroi cellulaire ou à l'intérieur du cytoplasme (formation de complexes avec des peptides, des acides organiques ou des ions inorganiques) (**Kabata, 2011**) ;
- ❖ Séquestration du métal dans la vacuole des cellules foliaires ou des trichomes, exclusion ou excrétion active du métal. Il en résulte alors que le métal ne puisse interférer avec les réactions métaboliques sensibles du plant (**Kabata, 2011**).



Chapitre III : Phytoremédiation

I. Définition et généralités sur la phytoremédiation

Belarbi (2017) définit la phytoremédiation comme étant l'utilisation de plantes chlorophylliennes et de leurs microbiotes associés pour éliminer, contenir ou rendre moins toxiques les contaminants environnementaux. La phytoremédiation n'est pas un concept nouveau, au 16^{ème} siècle, un savant italien Andréa Cesalpino, botaniste de Florence, découvre une plante poussant sur des roches naturellement riches en métaux (Zenasni et al, 2012).

La « phytoremédiation » est un cas particulier de la « bioremédiation », elle regroupe toutes les méthodes basées sur l'utilisation des végétaux supérieurs dont le but est de remédier les milieux contaminés (sol, eaux de surface et souterraines, air) par les polluants organiques ou inorganiques (Zenasni et al, 2012).

La phytoremédiation est une technologie de dépollution qui semble efficace pour un large spectre de polluants organiques et inorganiques. Elle peut être utilisée sur des substrats solides, liquides ou gazeux (Pilon, 2005). La phytoremédiation est une option qui est largement étudiée au cours de ces dernières années pour remédier à ce type de contamination dans des lieux étendus où l'excavation est impossible au vu des volumes considérés. La phytoremédiation est une technique à faible coût comparée aux techniques conventionnelles (Janssen et al., 2015).

L'utilisation des végétaux supérieurs a un double intérêt : en plus de leur action directe sur la dépollution des sols, ils permettent de créer un environnement physico-chimique favorable au développement de la microflore tellurique (bactéries et champignons) capable de détoxifier les polluants présents dans les sols (Belarbi, 2017).

I.1. Stratégies de phytoremédiation

Dans le domaine de la phytoremédiation, on retrouve différentes stratégies de décontamination, chacune appropriée à une contamination et à une problématique spécifique. Pour les contaminants organiques, on recourt à des stratégies de phytostimulation, de phytodégradation et/ou de phytovolatilisation. Pour les contaminants inorganiques comme les éléments traces métalliques (ETM) (Licinio, 2017).

Les qualités générales recherchées chez les espèces végétales utilisées en phytoremédiation sont : une croissance rapide, une forte biomasse, une capacité à tolérer la contamination et une bonne adaptation à l'environnement. Certaines stratégies de phytoremédiation requièrent des qualités particulières chez les plantes. Par exemple, pour la

phyto-extraction, les espèces végétales recherchées sont celles qui permettent l'absorption, le transport et l'accumulation des contaminants dans les parties aériennes. En phytodégradation on recherche plutôt un système racinaire très développé sécrétant de fortes quantités d'enzymes dégradantes. En phytostimulation, l'espèce recherchée possède un système racinaire développé, doté d'une grande quantité de racines pour soutenir la croissance microbienne ainsi que d'exsudats racinaires pour faciliter la dégradation du contaminant (Pilon, 2005)

I.2. Les différentes techniques de phytoremédiation

Selon Franck (2000), il existe plusieurs stratégies de phytoremédiation des sols contaminés par les métaux (fig. 13), on distingue :

- ✚ **Phytoextraction** C'est la voie dans laquelle les chercheurs se sont le plus investis depuis le début de cette décennie. La phytoextraction utilise des plantes capables de prélever les éléments traces toxiques et de les accumuler dans les parties aériennes qui seront ensuite récoltées puis incinérées. Les cendres seraient alors mises en décharges ou mieux réutilisées en métallurgie. Deux stratégies sont actuellement développées dans la phytoextraction. Il y a la phytoextraction assistée par des chélateurs de métaux. Cette méthode est désignée également par la phytoextraction induite et d'autre part la phytoextraction continue (Chedly, 2006)
- ✚ **La phytostabilisation** est une technique de décontamination qui consiste à l'utilisation de plantes afin de contenir ou d'immobiliser les polluants. De ce fait, la mobilité des polluants est réduite ce qui prévient la migration du panache de contamination vers les eaux souterraines ou dans l'atmosphère (Ademe, 2010) ; Les mécanismes biologiques impliqués durant la phytostabilisation sont l'absorption et l'accumulation des contaminants par les racines, l'adsorption sur les racines ou la précipitation dans la rhizosphère. La quantité d'eau qui s'infiltre dans le sol peut entraîner la formation de lixiviat contaminé. Ainsi, la présence des plantes réduit la quantité d'eau qui s'infiltre dans le sol et du même coup prévient l'érosion et le transfert de métaux toxiques vers d'autres compartiments comme la nappe phréatique et l'atmosphère (Ghosh et Singh, 2005).
- ✚ **La rhizofiltration** appelée également la phytoépuration (ou la phytofiltration), utilise des racines des plantes pour dégrader et/ou éliminer les polluants des effluents (eaux de surface, eaux souterraines extraites, eaux usées, boues liquides). Les systèmes

racinaires favorisent la dégradation et la minéralisation de composés organiques, absorbent, précipitent et concentrent les métaux (**Raskin et al., 1994**)

✚ **La phytodégradation** Cette méthode concerne la pollution organique et non pas celle des éléments traces. Les plantes utilisées dans cette technique n'ont pas la capacité de stocker les polluants dans leurs organismes. Cependant, elles sont capables de dégrader les polluants organiques à l'intérieur des cellules de leurs appareils aériens et racinaires. Les éléments majeurs présentent un danger lorsqu'ils forment certaines molécules toxiques. Dans la Phytodégradation, les plantes utilisées absorbent les molécules nocives et sont capables de les dégrader en molécules moins toxiques. La phytodégradation répond donc à l'objectif de gestion du risque de la phytoremédiation, mais elle ne traite pas le sujet des éléments traces (**Dabouineuet al, 2005**).

✚ **La phytovolatilisation** Cette technique utilise les plantes pour extraire les métaux lourds puis les éliminer par évapotranspiration via les stomates des feuilles ou les tiges. Parmi les métaux lourds, seuls le mercure et le sélénium sont adaptés à cette technique. La possibilité d'y inclure l'arsenic n'est pas à écarter. Une fois volatilisés, les polluants se dispersent dans l'atmosphère à des concentrations qui normalement ne représentent plus un danger pour l'homme. La phytovolatilisation présente également l'avantage de ne pas nécessiter de récolte de la biomasse puisque les contaminants sont dispersés dans l'atmosphère (**Pilon et al., 2005**)

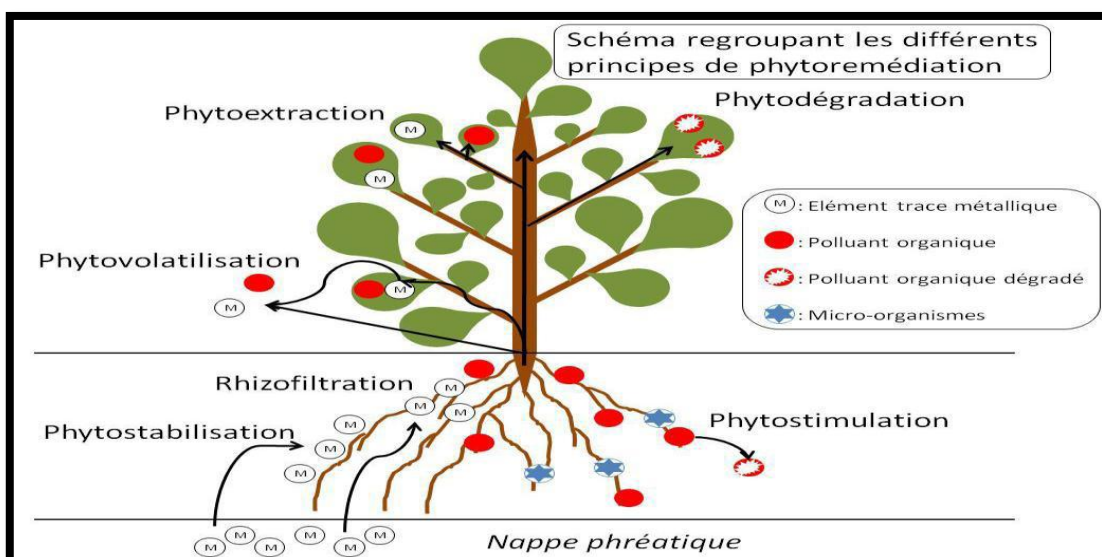


Figure11 : Différentes techniques de phytoremédiation(**Dahou et Rabhi,2019**).

I.3. Phytoremédiation des sols contaminés par les métaux

Selon Chedly (2006), parmi les différentes méthodes de phytoremédiation, la plus utilisée est la phytoextraction. Elle a été en particulier appliquée pour la dépollution des métaux (Fig. 12).

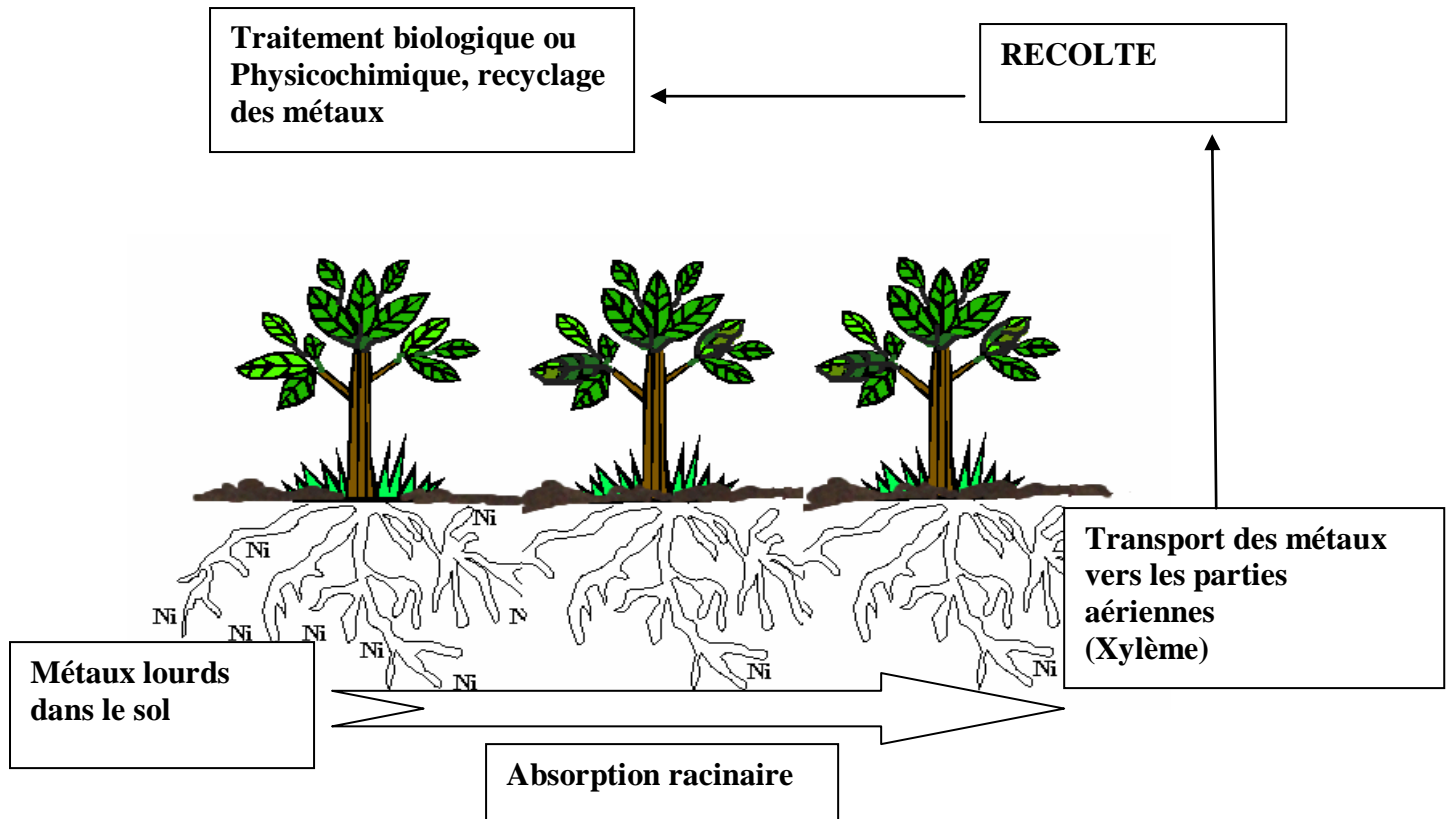


Figure 14 : Représentation schématique du processus de phytoextraction des métaux lourds (Chedly, 2006).

- La liste des éléments les plus connus pour leurs effets toxiques et susceptibles de polluer les sols, est représentée dans le tableau suivant (Tableau 1).

Tableau1. Gamme des concentrations des polluants métalliques les plus répandus dans l'environnement(**Chedly, 2006**).

| Elément | Gamme des teneurs (mg.kg ⁻¹) | Limite réglementaire (mg.kg ⁻¹) |
|---------|--|---|
| Plomb | 1-6900 | 600 |
| Cadmium | 0.1-345 | 100 |
| Arsenic | 0.1-102 | 20 |
| Chrome | 0.005-3950 | 100 |
| Mercure | 0.0001-1800 | 270 |
| Cuivre | 0.030-550 | 600 |
| Zinc | 0.150-5000 | 1500 |

I.4.Phytoremédiation des sols pollués par des composés organiques

L'utilisation des plantes dans la remédiation des eaux contaminées par des polluants organiques ou inorganiques existe depuis plus de 100 ans. Ce procédé a été à la base des traitements des eaux usées. Cependant, le nettoyage des sols contaminés par les composés organiques est un concept nouveau. Son développement est basé sur le fait que la biodégradation des polluants organiques est plus rapide pour les sols cultivés que pour les sols nus.

Par la suite, des études ont montré que les plantes sont capables d'absorber et démétaboliser un grand nombre de polluants organiques comme par exemple les explosifs (TNT), les polychlorophénols (PCB) et le trichloéthylène (TCE). En plus de l'absorption et du métabolisme des composés organiques, les plantes sécrètent des exsudats racinaires qui stimulent la bioremédiation microbienne au niveau de la rhizosphère, appelé phytoremédiationex-planta (**Chedly,2006**).

I.5. Avantages et inconvénients des la phytoremédiation

Les avantages et les inconvénients sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 2: Avantages et inconvénients de la phytoremédiation (Henry, 2000).

| Avantages | Inconvénients |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> -Utilisée pour une grande diversité de polluants organiques/inorganiques. -Application in situ/ex situ. - Diminution des perturbations pour le sol par rapport aux techniques conventionnelles. -Réduit la quantité de déchets à stocker jusqu'à 95%. - Diminution de la dispersion dans l'eau (lixiviation) et l'air. | <ul style="list-style-type: none"> -Restreinte à des sites pollués peu profonds limités à 1 m dans les sols. -Durée de remédiation longue. - Restreinte aux sites de faible contamination. -Traitement des déchets potentiellement dangereux. - Dépend des conditions climatiques. |



Partie 2 : Etude expérimentale

I. Matériel d'étude

I.1. Matériel végétal

Les boutures de *Tamarix articulata* proviennent de la région d'Ain-Ezaina, située à 15 km Nord de la wilaya de Djelfa. L'échantillonnage des boutures a été effectué au mois de mars 2020, cet échantillonnage est réalisé à partir d'arbres présentant un bon état végétatif.

Suivant le quadrillage kilométrique Lambret Nord de l'Algérie, les coordonnées géographiques de notre zone sont :

- E Longitude
- N Latitude
- D'altitude

I.2. Le sel de zinc ($ZnSO_4$)

Le facteur de variation étudié est la concentration en sulfate de zinc ($ZnSO_4$), ce sel est très répandu en raison de sa solubilité dans la solution du sol. Le zinc est un élément indispensable à l'état de traces pour de nombreux processus cellulaires, néanmoins, il peut devenir toxique lorsque la concentration dépasse un certain seuil (Loué, 1993).

Pour déterminer l'effet du zinc sur la croissance des plantules de *Tamarix articulata* et cerner le seuil critique de sensibilité de cette espèce, nous avons utilisé différentes concentrations d'une solution à base de $ZnSO_4$ pour l'arrosage (0, 0.01, 0.1 et 1 mmol $ZnSO_4$).

II. Méthodes d'étude

II.1. La Composition du substrat de culture :

Le substrat utilisé dans ce travail est composé de 2/3 de tourbe et de 1/3 du sable tamisé, lavé et stérilisé au préalable à l'autoclave (120°C/20 min).

II.2. Préparation des boutures

Les boutures des tiges collectées de notre zone d'étude ont été coupées en morceaux de 15 à 20 cm de long avec un sécateur très propre (désinfecté) afin de ne pas contaminer la bouture ;ensuite elles ont été entaillées en biais à la base et horizontalement à la partie supérieure(Figure 15). Enfin, ces boutures ont été mises en papier journal humide, puis stratifiées en les conservant au réfrigérateur jusqu'au moment de leur utilisation. Après leur stratification, ces boutures sont plantées dans des pots préparés préalablement. L'arrosage des pots doit s'effectuer 03fois par semaine à 60% de la capacité de rétention du substrat soit environ 250 ml à l'eau distillée.



Figure 13 : Préparation des boutures.

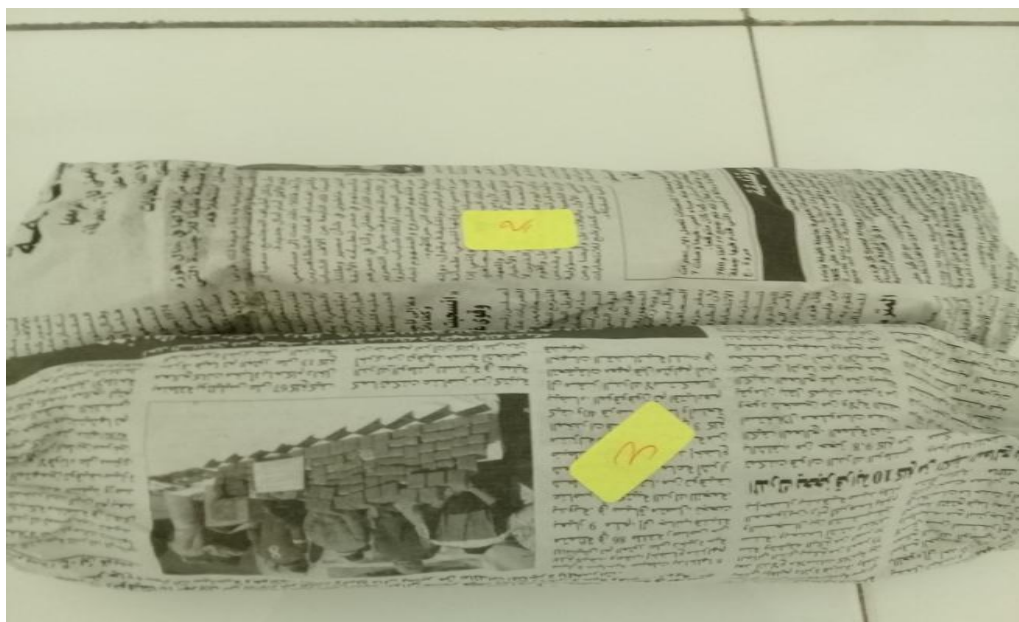


Figure 14 : boutures ont été mises en papier journal

II.3. La croissance

Les boutures sont utilisées pour les essais de croissance, dont le but est d'étudier l'effet de la solution de $ZnSO_4$ sur leur croissance. L'essai de la croissance est réalisé en conditions semi contrôlées au laboratoire de la faculté des sciences de la nature et de la vie de l'université de Djelfa, sous un éclairage de 12 heures assuré par un dispositif lumineux, à température ambiante (figure 15).

Nous avons utilisé, au cours de nos essais, des pots en plastiques de 10 cm de diamètre, remplis d'un mélange de tourbe-sable, à raison d'une bouture par pot. Le fond de ces pots est troué (3 trous) pour permettre le drainage de l'eau et éviter l'asphyxie des racines (Martinez et al., 1998). Ces boutures sont irriguées par l'eau distillée pendant 30 jours, puis avec les différentes solutions de $ZnSO_4$ jusqu'à la fin de l'expérimentation.



Figure 15 : Dispositif de mise en culture des boutures de *Tamarix articulata*

III. Les paramètres étudiés

III.1. Paramètres de croissance

Les indicateurs de croissance considérés sont :

- Longueur de la partie aérienne et racinaire.
- Le nombre de feuilles.
- La matière fraîche de la partie aérienne et racinaire.
- La matière sèche de la partie aérienne et racinaire.
- La teneur en eau de la partie aérienne et racinaire.

Le poids de la matière fraîche (MF) des plantules a été rapidement déterminé après leur récolte à l'aide d'une balance de précision.

Le poids de la matière sèche (MS) des plantules a été obtenu après séchage des échantillons dans une étuve pendant 02 jours à 60°C.

La teneur en eau a été calculée par la formule suivante : $(M.F - M.S) \times 100 / M.F$.

III.2. Dosage des pigments chlorophylliens

La chlorophylle (a et b) est extraite selon la méthode décrite par Arnon (1949) qui consiste en une macération du végétal dans de l'acétone ; le végétal est coupé en petits morceaux et broyé à l'aide d'un mortier dans de l'acétone à 80 %. Après le broyage total, la solution obtenue est filtrée et mise dans des boîtes noires (pour éviter l'oxydation de la chlorophylle par la lumière) puis on procède à la lecture des densités optiques des solutions à l'aide d'un spectrophotomètre à deux longueurs d'ondes :

645 et 663 nm, après l'étalonnage de l'appareil avec la solution témoin d'acétone à 80%.

$CH\ a\ (mg/l) = 12,41\ DO\ (663) - 2,59\ DO\ (645).$

$CH\ b\ (mg/l) = 22,9\ DO\ (645) - 4,68\ DO\ (663).$

$CH\ t = CH\ a + CH\ b.$

CH a: concentration en chlorophylle a.

CH b: concentration en chlorophylle b.

CH t: concentration en chlorophylle totale.

DO : densité optique.

III.3. Dosage de la proline

La méthode utilisée est celle de Troll et Lindsley (1955) simplifiée par Dreier et Goring(1974). Elle consiste à prendre 100mg de matière végétale. Puis à ajouter 3ml de méthanol à 40 %.Le tout est chauffé à 85°C dans un bain marie pendant 1 heure. Après refroidissement, on prélève

1ml d'extrait auquel il faut ajouter :

- 1ml d'acide acétique (CH_3COOH).
- 25mg de ninhydrine ($C_6H_6O_4$).
- 1ml de mélange contenant :(120ml d'eau distillée; 300ml d'acide acétique; 80ml d'acideorthophosphorique (H_3PO_4 , $d = 1.7$)).

Le mélange est porté à ébullition durant 30mn, la solution vire au rouge, après refroidissement,5ml de benzène sont rajoutés à la solution qui est agitée. Deux phases se séparent (une phasesupérieure et une phase inférieure). Après avoir éliminé la phase inférieure, la phase supérieure estrécupérée et déshydratée par l'ajout d'une spatule de sulfate du sodium Na_2SO_4 anhydre.

La lecture est effectuée à l'aide d'un spectrophotomètre à la longueur d'onde de 528nm. Les valeurs obtenues sont converties en teneur de proline à partir de courbe étalon construit à partir des échantillons contenant des quantités de proline à concentration connue.

IV. Analyse statistique

Les résultats sont soumis à une analyse de la variance (ANOVA) à un facteur de variation, avec le test de Newman et Keuls au seuil de 5% ($P < 0.05$) pour identifier les groupes homogènes. Le logiciel utilisé est SPSS.



Conclusion

Conclusion

L'Algérie comme toutes les autres régions du monde, n'a pas échappé aux vicissitudes climatiques entraînant de considérables modifications de la flore et de la végétation au cours des âges géologiques successives.

La pollution par les métaux lourds est un facteur majeur dans la dégradation de l'environnement. De part leur nature bio persistante, les métaux lourds causent des perturbations de l'écosystème, détériorent les sols, les eaux et s'accumulent dans les plantes via un transfert sol-plante. Ces métaux peuvent être transmis aux êtres humains et aux animaux via la chaîne alimentaire (**Righa et Bousseboua, 2014**).

Le zinc (Zn) est un micronutriment essentiel pour la croissance des végétaux. Néanmoins l'accroissement de sa concentration le rend toxique et dangereux pour les plantes. Notre étude s'est intéressée à l'effet du Zn, à différentes concentrations dans le sol (**Righa et Bousseboua, 2014**).

Le *Tamarix* est une plante naturalisée en Algérie, son introduction date de la période coloniale, vu son caractère de rusticité, il s'est adapté et devenu une plante « autochtone ». L'un des facteurs faisant son adaptation est le développement considérable de son système racinaire (**Belarouci, 1991**).

Tous ces caractères permettent au *Tamarix* d'être l'une des plantes les plus adaptées aux conditions extrêmes du milieu, surtout dans les milieux où il est natif, ce qui nous laisse à réfléchir comment mieux l'exploiter dans nos régions (les régions steppiques algériennes) qui souffrent de l'aridité de l'érosion et de la salinité. Il présente aussi des caractéristiques thérapeutiques qui occupent une place importante dans les traditions médicales traditionnelles des peuples où dans l'occident ils orientent des recherches scientifiques pour mieux exploiter ces caractéristiques (**Khabtane, 2010**).

Selon Khabtane (2010), La recherche sur la biologie et l'écologie de genre *Tamarix* a permis de soulever les conclusions suivantes :

- ❖ Un grand potentiel de multiplication soit par graines soit par bouturage ce qui lui permet de coloniser des différents milieux.
- ❖ Un système racinaire très adapté aux conditions de stress hydrique et un système efficace pour résister au stress salin (glandes sécrétrices).

Conclusion

- ❖ Le genre *Tamarix* se caractérise par un multi refoulement de branches basales se qui lui permet d'être plus efficace en matière de lutte contre le phénomène d'érosion
- ❖ Le genre *Tamarix* à des différentes utilisations surtout en phytothérapie traditionnelle.

Cette grande importance écologique de genre *Tamarix*, nous pousse à réaliser d'autres travaux pour prendre en compte les caractéristiques éco physiologiques et biochimiques des espèces de ce genre ainsi que les effets des conditions environnementale sur leur structure et leur composition chimique.

Malheureusement on n'a pas pu achever notre partie expérimentale et réaliser l'objectif de ce travail qui est : l'évaluation de la tolérance du *Tamarix articulata* aux différentes concentrations du zinc en vue de son utilisation en phytoremédiation pour décontaminer les sols pollués par les métaux lourds, mais la réalisation d'autres travaux complémentaires nous paraissent essentiels.



Références bibliographiques

Références bibliographique

Référence bibliographiques

-A-

ALLERD KW., 2002-Identification and taxonomy of Tamrix(Tamaricaceae) in New Mexico,(USA)Desert plants :26-32p

ANONYME., 2010-partenariats-institutions-citoyens-picri.siteweb:<http://www.iledefrance.fr/recherche-innovation/dialogue-science-societe/partenariats>.consulté le 02/07/2017

ANONYME., 2007-Britannica Encyclopedia. SociedadComercialEditorial santiago Ltda., Lima, 2800 pp

AOUN., MICHEL., 2009-néoformés à partir de couches cellulaires minces et issus de semis. Analyses physiologiques et rôle des polyamines. Thèse de Doctorat présentée à l'Université d Bretagneoccidentale.<https://hal.archivesouvertes.fr/file/index/docid/385705/filename> Consulté le 13 mai 2017.

ARAR Z., HOUARI S., 2007-Etude de comportement de quelques peuplements de boisement dans la région d'Ouargla .thèse master, Univ .Kasdi Merbah-Ouargla.13p

Arnon D. (1949) Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *beta vulgaris* Plant Physiol, 24(1): 1-15.

ARRIS S.,2008-Etude Expérimentale de l'Elimination des Polluants Organiques et Inorganiques par Adsorption sur des Sous Produits de Céréales. Thèse de doctorat, université Constantine.42p

AUBERT H et PINTA M., 1971-les éléments trace dans les sols. Travaux et documents de (I'O.R.S.T.O.M) : 11.67p

-B-

BAIZE D., 1997-Teneurs totales en éléments trace métalliques dans les sols (France). INRA .Ed, Paris : 408 p.

BAIZE D.,2000-Guide des analyses en pédologie .INRA .Ed. paris.257P

BANNARD N ., BRONDEAU M., FALCY M., JARGOT D., LAFON D., ROBERT S., SCHNEIDER O .,SERRE P.,2012-Base des données fiches toxicologique,Ed.Zinc et composésminéraux(INRS) ,2-4p.

BAUM B R., 1967-Introduction and naturalized Tamarisks in the United state and canada .Baileya.Vol.N°15:19-25p

BENCERIF K., 2007-Etude de mycorhization de Tamarix articulatevahl.Thèse Magister. Univ.SaadDahlab,Blida .162-164p

BOKAR C.,1997-*Potonciel,de Tamarix sengalensis a reboisé les sols sales du bas delta du fleuve* .mémoire de grade .Univ.laval.Canada.106p

BOUCHELKIA N.,2015-*Etude de l'élimination du Plomb, du Zinc et du cadmium par adsorption sur un charbon actif préparé à base des noyaux de jujube*.Thèse Magister., Univ. Amira. Bedjia,7-8p.

BROTHERSON J., FIELD., 1987- *Tamarix: Impact of a successful weed .Rangelands,New Mexico* 3: 110-112p

-C-

CAISER M.,1976-*Biosystematique stady of the family of Tamaricaceae from Pakistan , thesis submitted for the requirement of degree of D Ph, department of botany*.University of Karanchi .Pakistan ,409p

CATHERINE G D.,2016-*Décontamination d'un sol pollué par des métaux lourds par des procédés de traitement physiques et chimiques*. Univ. Québec. 10-11 p.

CHERFAOUI A., ZIAN A.,2012-*Analyse saisonnière endomycorhizienne des Tamarix gallica et Tamarix articulata en zone arides et semi arides (Djelfa, Laghouat ,Kasr el Boukhari)*.Thèse Master .Univ. ZianAchour.Djelfa .28p

CHIFFOLEAU J F., 2004 -*La contamination métallique*. Ifremer : P 39

CRINS W., 1989-*the Tamaricaceae in the Southeastern United States*. *J. Arboretum* 70:403-425.

-D-

DABOUINEAU L., LAMY Y., COLLAS P., 2005-*Phytoremédiation et phytorestoration, le Rôle d'eau* .Vol N°(124) :2p

DAS K., 1996-*Les niveaux de contamination par les métaux lourds chez deux espèces de Delphinidé*. These soutenues a l'université liege, Belgique.

DIBAF., DESA., IMBE., 2012-*Evaluating the potential use of Tamarixgallica L. for phytoremediation practices in heavy-metal polluted soils*. Geophysicalresearch abstracts .Vol. N° (14):2p

DUFAY J-P., 2001-*la pollution des sols : impact sur l'environnement et la santé*. Note rapide sur l'environnement et la santé, n°(286) : 1P

DREIER W., GORING M. (1974) Der Einfluss hoher Salzkonzentration auf verschiedene physiologische Parameter von Maiswurzeln. *Wiss. Z. Humboldt Univ. Berlin, Reihe/Math. Naturwiss.*, 23: 641-644.

GAMNIA Y., 2018-*Phytoextraction de cuivre par l'Atriplex dans un milieu salin*. thèse doctorat. Abdelhamid Ben Badis .Mostaganem.96-98p

-H-

HADJ. , 2013-*Contribution à l'étude du genre Tamarix: aspects botanique et Phyto-écologique dans la région de Tlemcen.*Thèse de magister.Université de Tlemcen.29p

-I-

IZA. ,2011- *International Zinc Association Website.* <http://www.zinc.org>

-J-

JOHNSON R., 1999-*Tamarisk control in southwestern United States: Proceedings; Tucson, AZ. Special Report.* Tucson, AZ: National Park Service, Cooperative National Park Resources Studies Unit, School of Renewable Natural Resources.Vol N° (9): 116-12P

-K-

KADOUICHE S., 2013-*utilisation des biomatériaux dans le traitement des eaux.* thèse de doctorat, université de Tizi-Ouzou

KEBIR T ., 2012- *étude de contamination, d'accumulation et de mobilité de quelque métaux lourds dans des légumes, des fruits et des sols agricoles situés près d'une décharge industrielle de l'usine zinc de la ville de Ghazaouet.*Thèse Doctorat, Univ.AbouBakrBelkaid. Tlemcen, 11-12 p

KHABTANE A ., 2010-*Contribution à l'étude du comportement écophysologique du genre Tamarix dans différents biotopes des zones arides de la région de Khenchela.*Thèse Magister .Univ.Mentouri Constantine, 82-90p

KHEDIM I.,2019-Phytoremédiation par l'Atriplex planté dans des sols enrichis en cuivre, zinc, plomb et cadmium.Thèsedoctorat .Univ .Abdelhamid Ben Badis .Mostaganem.153-154p

KRUPKA KM.,1999 – *Understanding variation in partition coefficient, kd, Values.*Enviromental protection Agency.

-L-

LACOUEL et THOMAS ., 2007-*Incorporation des métaux dans les œufs de la seiche commune Sepiaofficinalis et effets potentiels sur les fonctions digestives et immunitaires.* Thèse de doctorat, Océanologie Biologique a Environnement Marin, 200 p.

LICINIO A., 2017- *Phyto-extraction du zinc et de l'arsenic par différentes espèces de plantes.* Université de Montréal.14p

LOUE A.,1993-*Oligo-éléments en agriculture.* Paris Nathan .n°(2) :2p

-M-

MARTINEZ J.P., LEDENT J.F., KINET J.M. ET LUTTS S., 1998 – Effet du stress hydrique sur la photosynthèse et l'accumulation des solutés inorganiques et organiques chez l'*Atriplexhalimus* L. Rep.Sci.Projet STD N° TS3CT94 0264. Paris. p12.

MATIAS M S., 2008-*Contamination en métaux lourds des eaux de surface et des sédiments du Val de Milluni (Andes Boliviennes) par des déchets miniers*. Approches géochimique, minéralogique et hydro chimique. Univ.Toulouse III Paul Sabatier .15p

MATTHIESSEN P., REED J., THNSON M., 1999- *Sources and Potential effects of Cooper and Zinc Concentrations in the Estuarine Waters of Essex and Suffolk*. United Kingdom. Marine Pollutin Bukketin, vol.n°(38):908-909P

MIQUEL G., 2001-*Les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé*. Rapport de l'office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques : 366P

-O-

OZENDA P ., 1991-*Flore et végétation du Sahara*, Ed. CNRS éditions.Paris. 660p.

Pilon-Smits, E., 2005. Phytoremédiation . Annual Review of Plant Biology, Vol. 56: 15-39.

-Q-

QUEZEL P., SANTA S., 1962-*Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques et méridionales*. CNRS.T. I.565 p.

-R-

ROBERT M et JUSTE C., 1999-*Dynamique des éléments traces de l'écosystème sol*. In Club CRIN Environnement et Ministère de l'environnement. Spéciation des métaux dans le sol. Paris :CRIN

ROPERT et JUSTE ., 1999- *Dynamique des éléments traces de l'écosystème sol*. In Club CRIN Environnement et Ministère de l'environnement. Spéciation des métaux dans le sol. Paris : CRIN.

-S-

SCAL A., 2015- *polluant Atmosphérique surveillé en Nouvelle-Calédonie : origine, impacts et surveillance*. les métaux lourd(M L) : 2p

SEGHAIRI N., MIMECHE L., DEBABECHE M., HAMZAOUI A., 2013- *Elimination du cuivre présent dans les eaux usées industrielles sur un filtre plante de Tamarix*. Courrière du savoir. Vol N°(15) :53-57p

SHUIPING C., 2001-*Effects of Heavy Metals on Plants and Resistance Mechanisms*. Environ Sci et Pollut Res n° (10):257P

Références bibliographiques

SPOSITO G., 1989-The chemistry of soil, New York: Oxford University Press Inc: 277 p.

SPOSITO G.,1989 -The chemistry of soil, New York : Oxford University Press Inc:277P

STENGEL P., GELIN S., 1998-*Sol interface fragile* .Ed. INRA-Paris.213P

-W-

WAISEL Y., 1961-*Ecological studies on Tamarixaphylla (L)Karst I- II* *Phyton* .15:7-26p

WILKEN D H., 1993-*Tamaricaceae in J.C.Hickman(ed)*.The JapsonManuel.Univ.California Press .Berkeley:1080p

-Z-

Zenasni M ., Meroufel B, Amrouche A., Naâr F., Merzouka F., Difallah F.,2012-*Phytoremédiation de Zn (II) par les racines de CalotropisProcera (Bechar, Algérie)*.science et technique .Vol N°(120304) :5-12





Annexe

Matériel utilisé

➤ **Sur le terrain**

Pour entamer le protocole expérimental nous avons utilisé sur le terrain le matériel suivant :

- ❖ Un GPS (globale position système)
- ❖ Des sachets en plastique
- ❖ Un coteau
- ❖ Des sachets pour contenir les espèces végétales
- ❖ Caméra
- ❖ Gant
- ❖ Un bloc note, pour noter toute remarque ou information

➤ **Au laboratoire**

Le matériel du laboratoire utilisé pour effectuer les différents tests est le suivant :

- ❖ Les marqueurs pour dénomination des pots et boutures
- ❖ Journal pour les plants
- ❖ Balance de précision
- ❖ Etuve
- ❖ Eau distillée
- ❖ Un tamis (0.2mm)
- ❖ Sulfate de zinc $ZnSO_4$
- ❖ Acétone 80°/°
- ❖ Méthanol
- ❖ Acide acétique (CH_3COOH)
- ❖ Acide ortho phosphorique
- ❖ Benzène (toluène)
- ❖ Sulfate du sodium Na_2SO_4 anhydre
- ❖ Proline
- ❖ Un mortier
- ❖ Un bain marie
- ❖ Verreries (bécher, fiole, tube à essai de téflon,...).
- ❖ Un spectrophotomètre UV visible
- ❖ Un spectrophotomètre à absorption atomique



Figures N°16 : Couper en morceau de 15à 20cm de long d'un *Tamarix articulata*



Figure N°17: Préparation du substrat de culture (sable+tourbe)



Figure N°18: Préparation des pots



Figure N°19: REMPLISSAGE DU SUBSTRAT COMPOSÉ D'UN MÉLANGE SABLE ET TOURBE



Figure N°20 : Sécateur pour couper les boutures

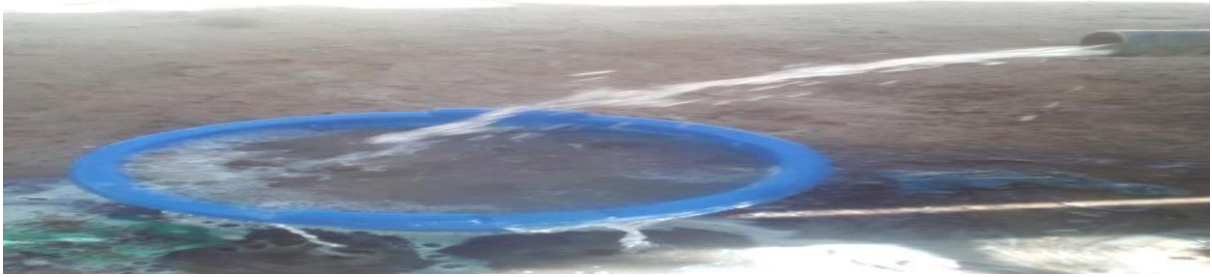


Figure N°21 : Préparation du substrat de culture (lavage du sable)

Résumé

La zone d'Ain Ezaina (Djelfa) se caractérise par un climat semi-aride à hiver frais et une couverture végétale variée où le *Tamarix articulata* occupe de larges surfaces.

À l'heure actuelle, la pollution des sols est l'un des problèmes environnementaux le plus délicat et souvent la phytoremédiation lui est associée comme procédé de décontamination. La phytoremédiation consiste à utiliser des plantes tolérantes au stress métallique et possédant une capacité d'accumulation et de translocation des métaux lourds.

Le *Tamarix articulata* est bien adapté à des conditions environnementales extrêmes et il présente des propriétés accumulatrices de métaux lourds. Notre travail consiste à étudier l'effet du zinc ($ZnSO_4$) sur les paramètres morphophysologiques, biochimiques et chimiques chez *Tamarix articulata*. Ainsi, d'étudier le pouvoir phytoremédiateur de ces plantes.

Mots-clés: métaux lourds, *Tamarix articulata*, Phytoremédiation, Zinc.

Abstract

Ain-Ezaina (Djelfa) is an area characterized by a semiarid climate at fresh winter and variable vegetable cover, when *Tamarix articulata* take a large portion of area .

At present, soil pollution is one of the most sensitive environmental problems and is often associated with phytoremediation as a decontamination process. Phytoremediation consists of using plants that are tolerant to metal stress and have the ability to accumulate and translocate heavy metals. *Tamarix articulata* L. is well adapted to extreme environmental conditions and have accumulative properties of heavy metals. This work consists in studying the effect of Zinc ($ZnSO_4$) on morphophysiological, biochemical and chemical parameters in *Tamarix articulata* L.

Keywords: heavy metals, *Tamarix articulata*, phytoremediation , Zinc.

الملخص

منطقة عين الزينة (ولاية الجلفة) تتميز بمناخ شبه جاف و شتاء دافئ بالإضافة إلى غطاء نباتي متنوع الذي تحتل فيه الطرفة مساحة معتبرة. في الوقت الحاضر يعد تلوث التربة من أكثر المشاكل البيئية حساسية و غالبا ما ترتبط به المعالجة النباتية كعملية لإزالة التلوث . تعتمد معالجة التربة بالنباتات على قدرة هذه الأخيرة على تحمل الإجهاد المعدني وكذا تخزين المعادن الثقيلة ونقلها إلى مختلف أجزائها. القطف هو نباتات أقل مبيته مع الظروف البيئية القاسية وذلك بامتلاكها خواص التراكمية للمعادن الثقيلة مثل الزنك. يهدف هذا العمل إلى دراسة تأثير الزنك على الخصائص المورفوفيزيولوجية والبيوكيميائية والكيميائية لنبات القطف وذلك من خلال دراسة قدرة هذا النبات على معالجة التربة .

الكلمات المفتاحية: المعادن الثقيلة، القطف، المعالجة النباتية، الزنك