

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

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة سعيدة د.مولاي الطاهر

Université Saïda MOULAY Tahar



كلية العلوم

Faculté des Sciences

قسم البيولوجيا

Département de Biologie

N° d'Ordre

**Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master**

**Filière : Biotechnologie Végétale**

**Spécialité : Biotechnologie Végétale**

**Thème**

**l'effet de Na-cl sur la bioaccumulation des métaux lourd (Pb - Cd) chez  
l'orge( *Hordeumvulgare L.*)**

Présenté par :

- SAIDI ABOUBAKER SEDDIK
- NACEUR ALI

Soutenu le :

Devant le jury composé de :

Présidente

FARES SORIA

Pr Université UMTS

Examinatrice

CHIKHI AMIRA

MCA Université UMTS

Rapporteur

HAMMOU BAKHTA

MCB Université UMTS

**Année universitaire 2021/2022**



Dédicaces

*A ma Mère*

*Tu m'as donné la vie, la tendresse et le courage pour réussir.*

*Tous les mots du monde ne sauront exprimer l'immense amour  
et la reconnaissance que je te porte.*

*En témoignage, je t'offre ce modeste travail pour te remercier  
pour tes sacrifices et pour l'affection dont tu m'as toujours  
entourée*

*Mon très cher père pour tous ce qu'il a fait pour moi durant  
toutes mes années d'étude*

*Ma grande mère aucune dédicace ne saurait exprimer mes  
sentiments, **2U'ALLAH** te préserve et te procure santé et  
longue vie.*

*Mes chers frères, je vous souhaite tout le bonheur du monde et  
la réussite dans vos vies personnelles et professionnelles, merci  
d'être là pour moi*

*A tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce travail de  
près ou de loin*

*Aboubaker*

*Je dédie ce modeste travail à :*

*La mémoire de ma grande mère*

*Mon très cher père pour tous ce qu'il a fait pour moi durant  
toutes mes années d'étude, pour ses encouragements et ses  
orientations.*

*Ma très chère mère pour son sacrifice, son aide, ses conseils et  
sa patience.*

*Mes chers amis en témoignage de  
toute mon affection.*

*A tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce travail de près  
ou de loin*

*Nourddine*

### **Remerciements**

Même si parfois les mots perdent son éclat à côté de la profondeur des sentiments, il faut pourtant les concrétiser en remerciements pour honorer tous ceux qui ont aidé ce travail.

Au terme de ce travail, nous tenons à remercier en premier ALLAH, DIEU le Tout Puissant qui m'a donné la patience et le courage pour accomplir ce travail.

Nos sincères remerciements s'adressent à notre encadreur HAMMOU, B docteur à l'Université Moulay Tahar Saida, d'avoir encadré ce travail.

Nous tenons également à lui exprimer notre profonde reconnaissance pour tous les précieux conseils qu'elle nous a donnés et pour le temps qu'elle a consacré pour finir ce travail dans des bonnes conditions.

J'exprime mes plus sincères remerciements à Madame Faress, pour avoir accepté de présider ce jury. Ainsi Madame Chikhi, A d'avoir bien voulu participer à ce jury.

**Liste des abréviations**

**ETMs** :Eléments traces métalliques

**Cd** :Le Cadmium

**Pb** :Le Plomb

**Pb( CH<sub>3</sub>COOH)<sub>2</sub>** : Acétate de plomb

**BCF** : Facteur de bioaccumulation

**NaCl** : Chlorure de sodium

**Zn** : Zinc

**MLs** : Métaux lourds

---

**Liste des figures**

<b>Figure 1:</b> Principaux procédés de la phytoremédiation (Sterckemanet <i>al.</i> ,211).	15
<b>Figure 2:</b> Processus de la phytostabilisation des métaux lourds (Abdelly, 27) .....	16
<b>Figure 3:</b> Processus de la phytodégradation des métaux lourds (Abdelly, 27).	17
<b>Figure 4:</b> Processus de phytoextraction des métaux lourds (Abdelly, 27). .....	19
<b>Figure 5:</b> Doses de sel (NaCl) et métaux lourds (Pb, Cd) appliquées durant le stress. ....	32
<b>Figure 7:</b> sélection des gaines d'orge pour la mise en culture dans des boites pétri .....	33
<b>Figure 8:</b> les graines d'orge après trois jour de germination sou différents traitements .....	33
<b>Figure 9:</b> Variation des taux de germination final en fonction des traitements .....	37
<b>Figure 10:</b> Teneurs des parties racinaires d'orge en éléments traces métalliques appliqués à des concentrations différentes (T1 : 0,1g/l (Cd), T2: 0,4g/l (Pb), T3(0,1g/lcd+3g/l nacl)T4(0,4g/lPb+3g/lNacl .....	39
<b>Figure 11:</b> Teneurs des parties aériennes d'orge en éléments traces métalliques appliqués à des concentrations différentes (T1 : 0,1g/l (Cd), T2: 0,4g/l (Pb), T3(0,1g/lcd+3g/l nacl)T4(0,4g/lPb+3g/lNacl .....	40

**Listes des tableaux**

<b>Tableau 1:</b> Salinité primaire et secondaire (SaiemaRasoolet <i>al.</i> ,213). .....	9
<b>Tableau 2:</b> classification de l'orge .....	25
<b>Tableau 3 :</b> les critères générales de la variété rihane.....	28
<b>Tableau 4 :</b> les critères morphologiques de la variété rihane .....	28
<b>Tableau 5 :</b> représentation des caractères culturales de la variété raihane .....	28

---

## Résumé

La dégradation des sols par la salinité et la pollution en métaux lourds posent un problème environnemental inquiétant. A cet effet, ce travail consiste à évaluer l'effet de métaux lourds Pb, Cd, seuls et combinés au Na-Cl, sur les paramètres chimiques, biochimiques et morpho-physiologiques de L'orge R.; une plante modèle et appropriée pour les études éco-toxicologiques grâce à sa tolérance aux différentes contraintes. Une étude du pouvoir phytoremédier de cette plante est effectuée, pour estimer le taux d'accumulation et de translocation des métaux lourds, afin d'utiliser L'orge R. dans la décontamination des sols pollués.

Le stress métallique est appliqué durant deux semaines, après 14 jours de croissance de L'orge R. à différentes concentrations Pb (0,4g /l), et cd (0,1g/l) en présence et absence de Na-Cl (3g/let 6g/l). Les résultats obtenus montrent que l'orge est Tolérant au Na-Cl et résistant au stress métallique avec un ordre de sensibilité : Pb < Cd En revanche, l'interaction de Pb, Cd au Na-Cl a révélé un effet positif de la salinité sur la tolérance de L'orge R. aux métaux lourds.

Les résultats relatifs au pouvoir phytoremédiateur révèlent que l'orge R. en absence de Na-Cl, accumule massivement le Pb, le cd dans les parties aériennes et racinaires et d'avantage dans la partie racinaire avec l'ordre Cd < Pb. En présence de Na-Cl ces teneurs s'élèvent en fonction de l'augmentation des doses appliquées, par rapport à l'effet des métaux lourds seuls.

L'orge R .semble d'être prometteuse pour la phytoremédiation. Cette plante est recommandée aussi d'être utilisée pour la décontamination des sols agricoles salins riches en métaux lourds et les sols agricoles irrigués par l'eau saline, vu que la salinité modérée peut améliorer assez efficacement la tolérance de l'orge Rau Pb et Cd . Ce qui devrait être pris en compte lors du développement de technologies innovantes de phytoremédiation.

**Mots clés** : Stress salin ; Stress métallique ; L'orge R ; Sol ; Phytoremédiation ;

---

**Abstract**

Soil degradation by salinity and heavy metal pollution is a serious environmental problem. This work consists to evaluate the effect of heavy metals Pb and Cd, alone and combined with NaCl, on the chemical, biochemical and morpho-physiological parameters of Barley R.; a model plant suitable for eco-toxicological studies due to its tolerance to different stresses. A study of the phytoremediation capacity of this plant is carried out to estimate the accumulation and translocation rate of heavy metals, in order to use Barley R. in the decontamination of soils.

Metallic stress is applied for two weeks, after 14 days of growth of Barley R. at different concentrations Pb (0.4g / l), and cd (0.1g / l) in the presence and absence of Na-Cl ( 3g / let 6g / l). The results obtained show that barley. is moderately sensitive to Na-Cl. On the other hand, it resists metallic stress with an order of sensitivity: Pb < Cd On the other hand, the interaction of Pb, Cd with Na-Cl revealed a positive effect of salinity on the tolerance of barley R. to heavy metals.

The results relating to the phytoremediator capacity reveal that barley R. in the absence of Na-Cl, accumulates massively Pb, cd in the aerial and root parts and much more in the root part with the order Cd < Pb. In the presence of Na-Cl these levels rise according to the increase in the applied doses, compared to the effect of heavy metals alone.

barley R . appears to be promising for phytoremediation. This plant is also recommended to be used for the decontamination of salty agricultural soils rich in heavy metals and agricultural soils irrigated by saline water, since moderate salinity can quite effectively improve the tolerance of Barley Rau Pb and Cd. This should be taken into account when developing innovative phytoremediation technologies.

**Keywords:** Saline stress; Metal stress; barleyR; Soil; Phytoremediation;

## ملخص

يمثل تدهور التربة بسبب الملوحة وتلوث المعادن الثقيلة مشكلة بيئية مقلقة. ولهذا الغرض، يتمثل هذا العمل في تقييم تأثير المعادن الثقيلة Pb ، Cd ، بشكل من فرد أو مع Na-Cl ، على المعايير الكيميائية والكيميائية الحيوية والمورفولوجية للشعير R اذ يعتبر نبات نموذجي ومناسب لدراسات التلوث البيئي بسبب تحمله لمختلف التغيرات البيئية. يتم من خلال هذا العمل أيضا دراسة قدرة الشعير على تجميع ونقل المعادن الثقيلة داخل اجزاءها المختلفة، و هذا لاستعمالها في معالجة تلوث التربة الناتج عن تراكم المعادن الثقيلة فيه.

يتم تطبيق الإجهاد المعدني لمدة أسبوعين، بعد 14 يوماً من نمو الشعير R. بتركيزات مختلفة Pb (0.4g/l)، و cd (0.1g/l) في وجود وغياب Na-Cl (3g/let 6g/l). تظهر النتائج التي تم الحصول عليها أن الشعير متسامح مع Na-Cl ومقاوم للإجهاد المعدني بترتيب من الحساسية  $Pb < Cd$  : من ناحية أخرى، كشف تفاعل Pb ، Cd مع Na-Cl عن تأثير إيجابي للملوحة على تحمل الشعير R. للمعادن الثقيلة. النتائج المتعلقة بقدرة الشعير على معالجة التربة من التلوث المعدني تشير إلى أنه في غياب كلوريد الصوديوم يقوم الشعير بجمع المعادن الثقيلة في الجزء الجذري بصفة كثيفة و بترتيب: الكاديوم أقل من الرصاص، بينما بوجود كلوريد الصوديوم ترتفع نسبة تراكم المعادن وفقا للزيادة الجرعات المطبقة مقارنة بتأثير المعادن الثقيلة وحدها. كما تبين النتائج المتحصل عليها أن تنقل المعادن الثقيلة إل الأجزاء الورقية يرتفع تدريجيا و بالترتيب الآتي:

الكاديوم أقل من الرصاص من خلال النتائج المتحصل عليها يعتبر الشعير صنف مرشح للاستخدام في إزالة التلوث بالمعادن الثقيلة وذلك لقدرته على تثبيتها في الجزء الجذري للنباتة.

كما يمكن استخدام الشعير في إزالة تلوث التربة الزراعية غنية بالملح وكذا التربة الزراعية المسقية بالمياه المالحة، وذلك لأن درجة الملوحة المتوسطة يمكن أن تحسن من

فعالية مقاومة الشعير للتلوث المعدن لرصاص والكاديوم وتزيد أيضا من قدرة هذه الأخيرة على التنقل بين أجزاء النباتة وعليه ينبغي أن تؤخذ هذه النتائج بعين الاعتبار عند تطوير التكنولوجيات الحديثة المبتكرة في المعالجة النباتية للتربة الملوثة.

**الكلمات الرئيسية:** الإجهاد الملحي؛ الإجهاد المعدني؛ الشعير R ؛ التربة؛ المعالجة النباتية

**Table des matières**

Remerciements.....	5
Liste des abréviations.....	i
Liste des figures.....	ii
Listes des tableaux.....	iii
Résumé.....	iv
Abstract.....	v
Table des matières.....	vii
Introduction.....	2
1.1. Généralités sur les éléments trace métalliques et la salinité :.....	5
1.1.1. Définition :.....	5
1.1.2. Origine :.....	5
1.1.3. Mobilité, biodisponibilité et toxicité.....	6
1.2. Le Stress abiotique dans les plantes :.....	7
1.2.1. Salinité des sols :.....	8
1.2.2. Sources de la salinité des sols :.....	9
1.2.3. Impact de la salinité sur le sol :.....	10
1.2.4. Impact de la salinité sur les végétaux :.....	11
1.2.5. Réponse et stratégie d'adaptation des végétaux au stress salin :.....	11
1.3. Phytoremédiation.....	13
1.3.1. Définition.....	13
1.3.2. Principe de la phytoremédiation.....	14
1.3.3. Différentes techniques de la phytoremédiation :.....	15
1.3.3.1. Phytostabilisation.....	15
1.3.3.1.1. Rhizodégradation (Phytodégradation).....	16
1.3.3.2. Phytoextraction.....	17
1.3.3.3. Phytoremédiation par extraction des polluantes :.....	18
1.3.3.3.1. Phytoaccumulation :.....	18
1.3.3.4. Phytovolatilisation.....	19
1.3.3.5. Phytofiltration.....	19
1.3.4. Avantages et limites de la phytoremédiaotin.....	20

---

I.3.5. Critères de choix des espèces végétales accumulatrices.....	21
I.3.6. Espèces végétales accumulatrices des métaux.....	21
I.3.6.1. Cas des halophyte .....	21
I.4. l'orge : .....	23
I.4.1. Origine géographique et génétique : .....	24
I.4.2. Classification de l'orge :.....	25
I.4.3. Description botanique :.....	26
I.4.3.1. L'appareil végétatif : .....	26
I.4.3.1.1. Le système aérien : .....	26
I.4.3.2. L'appareil reproducteur : .....	27
I.4.4. les variétés d'orge utilisées en Algérie :.....	27
I.4.4.1. Caractéristiques morphologiques :.....	28
I.4.4.2. Caractéristiques culturelles :.....	28
II.1. Matériels et méthodes :.....	31
II.1.1. Matériel végétal :.....	31
II.1.2. Conduite de l'essai et traitements : .....	31
II.1.3. Préparation des solutions :.....	31
II.2. Récoltes des plantes :.....	33
II.3. paramètres étudiés :.....	33
II.3.1.1. Paramètres morphologiques : .....	34
II.3.1.1.1. Pourcentage de germination :.....	34
II.3.2. Paramètres biochimiques: .....	34
II.3.2.1. Dosage des éléments traces métalliques présents dans les plantules d'orge : .....	34
III.1. Résultats et discussion : .....	37
III.1.1. Effet du Cd, Pb et NaCl sur les paramètre morphologiques :.....	37
III.1.1.1. Taux de germination :.....	37
III.1.2. Effet du Cd, Pb et NaCl sur les paramètre biochimiques :.....	38
III.1.2.1. Teneur de Plomb et de Cd dans les parties racinaires :.....	38
III.1.2.2. Teneur de Plomb et Cd dans les parties aériennes : .....	39
IV.1. Conclusion .....	43
IV.2. perspective :.....	44

---

V.1. Références bibliographiques.....	47
VI.1. Annexe1: .....	67

# INTRODUCTION

---

## Introduction

la contamination par les métaux lourds et la salinisation devraient être les problèmes environnementaux les plus critiques (GabrijelOndrasek, 213).

Le développement industriel humain dans les 2 ans derniers porte avec ilune grande pollution de milieu ou La teneur totale en métaux lourds des sols pollués peut dépasser de 1 à 1 fois celle des sols non pollués (Valentina et *al.*, 21).

La qualité et le rendement des cultures sont fortement affectés par la présence de métaux dans le sol (Ozyigit et *al.*, 218). Parmi les différents métaux lourds présents dans les sols, le plomb (Pb), le cadmium (Cd), sont largement observés à l'échelle globale en raison de leurs nombreuses utilisations et de leur haute persistance écotoxique à concentration plus ou moins élevée selon la nature, Ces polluants engendrent une dégradation des écosystèmes sols et des risques sanitaires potentiels. (EEA, 27).

La phytoremédiation fait référence à l'utilisation in situ des plantes et des microorganismes associés pour dégrader, contenir ou rendre inoffensifs les contaminants dans l'environnement (Ayotamuno et *al.*, 26). Elle peut être utilisée pour l'élimination de divers polluants organiques (hydrocarbures et pesticides) et inorganiques (métaux lourds) (Rezania et *al.*, 215). Dans certaines études, les plantes dites métallophytes, ont la capacité d'accumuler divers métaux lourds toxiques dans leurs parties végétatives et reproductrices. Les plantes combattent la toxicité des métaux lourds de différentes manières. Divers modes

En même temps A l'heure actuelle, environ 25 % de toutes les terres sont salines. C'est dans les régions arides et semi-arides que le degré de salinité est le plus élevé (Valentina et *al.*, 21). Au cours de ces dernières décennies on assiste à une diminution progressive des superficies cultivables dans les régions arides et semi-arides à cause de l'accumulation des sels liée à la rareté des précipitations, au mauvais drainage, à la sécheresse prolongée (Chérifi et *al.*, 217). Dans le bassin méditerranéen, la salinité des sols constitue l'un des

facteurs limitatifs de la productivité végétale et du rendement agricole (Farissi et *al.*, 214). En effet, l'excès de sel dans le sol affecte la germination, la croissance des plantules et leur vigueur, la phase végétative, la floraison et la fructification à des degrés variables conduisant à terme à des baisses de rendement et de qualité des productions (Lachhab et *al.*, 213).

Dans ce cadre s'inscrit notre travail qui vise à déterminer l'influence de la salinité, représenté par différentes concentrations, sur la bioaccumulation d'orge des métaux lourds, afin de trouver des solutions naturelles de dépollution des sols en Algérie.

Ce travail est scindé en deux parties :

- bibliographique synthétisant les principales informations relatives au travail sollicité
- pratique consacrée aux matériel et méthodes, résultats obtenus et leurs discussions

# SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

---

## I.1. Généralités sur les éléments trace métalliques et la salinité :

### I.1.1. Définition :

« Métaux lourds (MLs) » est l'appellation couramment utilisée pour désigner les micropolluants minéraux de forte masse volumique supérieure à  $5 \text{ g/cm}^3$  qui peuvent former des sulfures (Facchinelli et al., 21). Ce terme sous-entend aussi une notion de toxicité.

Cependant, le terme « éléments traces métalliques (ETMs) » tend à remplacer celle de **métaux lourds** qui a été et qui reste un concept mal défini car associant des métaux toxiques réellement *lourds* à d'autres l'étant moins. Dans le manuscrit, le terme ETMs est préférentiellement utilisé. On en distingue deux types en fonction de leurs effets physiologiques et toxiques : métaux essentiels et métaux non essentielles.

Les métaux essentiels sont des éléments indispensables à l'état de trace pour de nombreux processus cellulaires et qui se trouvent en proportion très faible dans les tissus biologiques (André, 1993). Certains peuvent devenir toxiques lorsque la concentration dépasse un certain seuil. C'est le cas du cuivre (Cu), du zinc (Zn), du nickel (Ni) et du fer (Fe).

Les métaux toxiques : ont un caractère polluant avec des effets toxiques pour organisme vivants même à faible concentration, ils n'ont aucun effet bénéfique comme pour la cellule, c'est le cas du plomb (Pb), du mercure (Hg), du cadmium (Cd), (Huynh, 29),

### I.1.2. Origine :

La présence de métaux lourds dans les sols peut être d'origine naturelle ou anthropique. Le sol est un milieu poreux, issu d'un processus d'altération des matériaux géologiques sous l'action combinée des êtres vivants et des processus physico-chimiques (solutions de percolation). Au cours de la formation du fond pédo-géochimique, des ETMs présents naturellement dans les roches mères, sont libérés dans les sols à des concentrations naturelles qui varient selon la nature de la roche, sa localisation et son âge. A cela, s'ajoutent les apports de poussières et aérosols libérés dans l'atmosphère par les

activités volcaniques, les embruns marins, etc... S'ajoute à ce fond pédogéochimique les métaux d'origine anthropique, c'est-à-dire en grande partie ceux liée à l'exploitation et au traitement des minéraux, à la fabrication et l'utilisation d'engrais et de pesticides, à l'industrie chimique, aux décharges et à l'incinération de déchets ménagers et industriels, etc...

Deux types majeurs de contaminations liées aux activités humaines peuvent être distingués :

**Contaminations locales** : consistent en des apports massifs localisés d'origine proche qui touchent une aire relativement faible et sont dues à une ou plusieurs source(s) bien identifiée(s) située(s) à quelques mètres ou à quelques kilomètres. Ils résultent souvent d'apport anthropiques accidentels liés aux activités industrielles sans protection efficace contre la dispersion dans l'environnement et sont souvent associés aux exploitations minières, aux installations industrielles et à d'autres installations, tant en cours d'exploitation qu'après leur fermeture (Sonnet et al., 27).

**Contaminations diffuses**: il s'agit d'apports diffus aériens d'origine lointaine qui affectent tous les sols, plus ou moins faiblement mais de manière généralisée. Dans ces apports diffus sont classés les poussières et aérosols provenant des chauffages, des moteurs d'automobiles, de dépôts atmosphériques et des pratiques agricoles et horticoles (épandage d'engrais, d'amendements, de boues de station d'épuration, de traitements phytosanitaires, etc...). Ce type de contamination ne peut être totalement évité puisqu'il est la conséquence d'apports involontaires ou d'impuretés indésirables dans les apports volontaires (Sonnet et al., 27).

### **I.1.3. Mobilité, biodisponibilité et toxicité**

La mobilité d'un élément métallique constitue son aptitude à passer dans des compartiments du sol où il est de moins en moins énergétiquement retenu, souvent dans la phase liquide mais également dans l'atmosphère du sol (Juste, 1988). L'ensemble des constituants du sol forme le «complexe absorbant» (Blanchard and Wolfers, 2). Ce complexe réalise des échanges

entre la phase liquide et la matrice solide du sol, dépendant de mécanismes de sorption. Deux Principaux types d'interactions entre les phases solide-liquide sont impliqués dans la rétention des ETMs. Les métaux peuvent exister sous forme d'ion libre ou sous forme liée dans six compartiments différents du sol (Huynh, 29). Ainsi, ils peuvent être sous forme Échangeable (cations ou anions), associés aux surfaces des minéraux argileux et aux matières organiques, complexés ou inclus dans les molécules organiques ou dans les réseaux cristallins des minéraux primaires et des constituants secondaires, adsorbés sur oxydes/hydroxydes et/ou séquestrés dans les résidus végétaux et animaux. Toutefois, ils ont tendance à passer d'une forme à l'autre et leur répartition dans les différents compartiments du sol évolue dans le temps.

Dès lors, les scientifiques se trouvent confrontés à de grandes difficultés lorsqu'il s'agit de déterminer les seuils de concentration totale d'éléments métalliques considérés comme toxiques (Kabata-Pendias and Pendias, 21) qui sont fonctions de la mobilité et de la biodisponibilité des métaux et pas de leur teneur totale. L'évaluation des conséquences de la contamination des sols par les métaux vis-à-vis des organismes vivants du sol et notamment des plantes nécessite le recours aux concepts de disponibilité et de biodisponibilité des éléments métalliques (Zhang et al., 21; Geebelen et al., 23). Le groupe de travail de l'ISO (Organisation Internationale de Standardisation) « ISO/TC 19 » a mené une réflexion permettant d'éviter la confusion possible entre les deux concepts (ISO, 26). Selon ISO (26), la biodisponibilité peut être subdivisée en trois composantes : la « disponibilité environnementale », la « biodisponibilité environnementale » et la « biodisponibilité toxicologique ».

### **1.2. Le Stress abiotique dans les plantes :**

Le stress est l'ensemble des perturbations physiologiques provoqués dans l'organisme par des agents biotiques (parasite, pathogène) ou abiotiques (salinité, sécheresse, température, pollution métallique ...etc.) (Maarouf et Raynaud, 27). Naturellement, les plantes doivent donc s'adapter pour faire face à des agressions biotiques et abiotiques (Ishida et al., 28).

stress abiotiques induisent des changements physiologiques (Langridge *et al.*, 2016) et des changements dans les processus cellulaires (Chinnusamy *et al.*, 2016 ; Talameet *et al.*, 2017). Ils engendrent généralement une perturbation du potentiel hydrique chez les plantes (Atienza *et al.*, 2014 ; Verslues *et al.*, 2016), compensée par une fermeture des stomates, suite à une perte de turgescence dans les cellules, ou une diminution de la pression osmotique cellulaire (Langridge *et al.*, 2016). Les stress peuvent également affecter le fonctionnement de la plante en perturbant les flux ioniques (Langridge *et al.*, 2016) ou en altérant les parois ou membranes cellulaires (Zhu, 2011 ; Wang *et al.*, 2013). Les tissus doivent alors mettre en place plusieurs mécanismes d'adaptation afin de limiter les dégâts engendrés par les stress (Verslues *et al.*, 2016).

#### 1.2.1. Salinité des sols :

La salinisation des sols est l'un des principaux facteurs abiotiques qui réduisent les rendements agricoles et aggravent la dégradation des sols. À l'échelle mondiale, il y a plus de 8 millions d'hectares de terres salinisées. Ce chiffre représente plus de 6% de la superficie totale de la Terre (FAO, 2018). Les sels sont présents dans le sol naturellement, mais à un certain seuil ils deviennent néfastes pour les terres agricoles, le tableau suivant (Tab.2) classe la salinité du sol selon le degré de conductivité électrique ; qui indique la sévérité de la salinité du sol.

La salinité est divisée en primaire et secondaire en fonction de sa cause (tableau 3). Le premier se produit dans des paysages tels que les marais salants, les lacs salés, les marais côtiers ou les salines naturelles sous forme de sel naturel. En revanche, le second est le résultat d'activités humaines telles que l'urbanisation et l'agriculture (Saiema Rasool *et al.*, 2013).

**Tableau 1:** Salinité primaire et secondaire (SaiemaRasoolet *al.*,213).

Type de salinité	Facteurs responsables à la salinité
<b>Salinité primaire</b>	<p>L'altération des roches</p> <p>Montée capillaire à partir d'eaux souterraines salines peu profondes</p> <p>Intrusion d'eau de mer le long de la côte</p> <p>Du sable chargé de sel soufflé par les vents de mer</p>
<b>Salinité secondaire</b>	<p>Introduction de l'irrigation sans système de drainage adéquat</p> <p>L'activité industrielle</p> <p>L'utilisation d'engrais</p> <p>Enlèvement de la couverture végétale naturelle</p> <p>Inondation par les eaux riches en sel</p> <p>L'utilisation d'eaux souterraines de mauvaise qualité pour l'irrigation</p>

### 1.2.2. Sources de la salinité des sols :

La salinité de la plupart des terres est due à des causes naturelles ou à l'accumulation de salinité dans les régions arides et semi-arides (Rengasamy, 22). L'altération des roches mères libère différents types de sels solubles, principalement du chlorure de sodium, du chlorure de calcium et du chlorure de magnésium, ainsi que de petites quantités de sulfates et de carbonates (Munns et Tester, 28). Le chlorure de sodium est le sel le plus soluble et le plus libéré. Une autre raison de l'accumulation de sel dans le sol est le dépôt de sel dans l'océan causé par le vent et la pluie. L'eau de pluie contenant 1 mg/kg de

NaCl dépose 1 kg/ha de sel pour 1 mm de précipitations par an (Munns et Tester, 28).

Selon l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, 1 millions d'hectares de terres arables dans le monde sont abandonnés chaque année en raison de problèmes d'irrigation. Sur les 1,5 milliard d'hectares cultivés en agriculture pluviale, seuls 2% (32 millions d'hectares) sont affectés par la salinité à différents degrés, actuellement ce chiffre s'élève à 2% (45 millions d'hectares) (Nguyan, 212).

### **I.2.3. Impact de la salinité sur le sol :**

Il existe deux types de sols affectés par la salinité : (i) Les sols sodiques (ii) Les sols salins. La principale différence entre les deux sols est la nature des anions et le pH du sol. Des études ont montré que les ions carbonate ou bicarbonate constituent les sols sodiques avec un pH supérieur à 8,5, tandis que les ions chlorure ou sulfate prédominent dans les sols salins avec un pH inférieur à 8,5. (Yadav et al., 211 ; Mane et al., 211).

Dans certaines régions, les cultures sont limitées par l'accumulation de sel dans le sol. Ces excès de sels, le plus souvent du chlorure de sodium (NaCl), nuisent à la croissance et à la productivité des plantes (Reynolds et al., 25 ; Zilli et al., 28 ; Sobhanian et al., 21). De vastes étendues de terres autrefois arables cessent d'être agricoles chaque année en raison de l'augmentation de la salinité du sol. L'utilisation d'eau d'irrigation présentant des taux élevés de sel et l'application d'engrais contenant du sel constituent les principaux facteurs responsables de l'augmentation de la salinité des sols (Epstein et al., 198).

#### **1.2.4. Impact de la salinité sur les végétaux :**

La Salinité du sol est un facteur environnemental important qui affecte la croissance des plantes et la productivité agricole. Le problème de la salinité a été étudié sur la plante:

Agronomique (**Zekri, 1993 ; Ruiz et al.,1997**), biochimique (**Cerezoet al., 1997**) et moléculaire (**Gueta-Dahan et al., 1997**).

La salinité entraîne une réduction de la capacité des plantes à absorber l'eau, une chute des potentiels hydrique foliaire et osmotique (déshydratation cellulaire) (**Hamdia et Shaddad, 21 ; Joseph et Jini, 211**). Elle provoque aussi un déséquilibre de la balance ionique (accumulation des ions Cl-) qui induira une toxicité importante dans le cytoplasme (**Joseph et Jini, 211**), la réduction de flux d'assimilés vers les tissus méristématiques en croissance et une diminution des matières fraîche et sèche au niveau des feuilles, mais aussi au niveau des tiges et des racines (**Hernandez et al.,2**). Une diminution de la teneur en chlorophylle (Meloni et al., 23) ainsi qu'une augmentation de la teneur en chlorure de dose toxique dans les feuilles plus âgées sont associées à une résistance accrue des stomates, ce qui entraînera une diminution de l'activité photosynthétique et une croissance réduite (Munns, 22) . La salinité provoque un stress oxydatif qui endommage les protéines et entraîne une attaque des acides aminés spécifique au site, une modification et une fragmentation de la chaîne peptidique, une agrégation des produits de réaction de réticulation et une sensibilité accrue à la protéolyse (Ahmad et al., 21a, b, 211) . Le stress oxydatif produit des espèces réactives de l'oxygène (ROS) qui induisent de nombreux dommages à l'ADN qui entraînent des mutations et d'autres effets génétiques létaux (**Srivalliet al.,23 ; Tutejaet al.,29**).

#### **1.2.5. Réponse et stratégie d'adaptation des végétaux au stress salin :**

Les niveaux de tolérance à la salinité sont très variables entre les plantes (**Rabie et Almadini, 25**). La tolérance au sel peut habituellement être évaluée comme le pourcentage de production de biomasse dans des conditions

salines par rapport aux conditions de contrôle sur une période de temps prolongée (ce qui correspond habituellement au rendement) ou en termes de survie, ce qui est tout à fait approprié pour les espèces vivaces (**Munns, 22**). Les tolérances de salinité peuvent augmenter ou diminuer selon l'espèce végétale et/ou les facteurs environnementaux. Pour certaines espèces, la sensibilité au sel peut être maximale au moment de la germination, tandis que pour d'autres espèces, la sensibilité peut augmenter pendant la reproduction (**Howat, 2 ; Marschner, 1986**). La réponse des plantes à la salinité se fait selon deux phases (**Munns et Tester, 28**).

### **I.3. Phytoremédiation**

#### **I.3.1. Définition**

Le terme phytoremédiation est un concept composé de mot dérivé, de deux identités de sens qui s'unir en fusion, phyto (signifiant " plante ") avec le mot latin *remedium* (signifiant " guérison du mal "), il a été créé en 1994 par Ilya Raskin (**Vameraliet al.,21**). C'est un système, autotrophe à grande biomasse nécessitant une gamme de nutriments, (**Sarataleet al.,211**).

un nombre considérable d'espèces végétales ont la capacité d'accumuler divers métaux lourds toxiques dans leurs parties à la fois végétatives et reproductives. Les plantes peuvent faciliter la disponibilité des métaux lourds sans affecter le sol de surface, stabilisant longtemps ainsi la fertilité du sol (**Ali et al.,213 ; Olowuet al., 215**). Par rapport aux autres techniques traditionnelles, la phytoremédiation est une option valable car elle est économiquement faisable et respectueuse de l'environnement. Les plantes ont une énorme capacité d'absorption des métaux lourds de l'environnement par le biais de divers mécanismes, notamment l'extraction des plantes, la stabilisation des plantes et filtration des plantes, la volatilisation des plantes et la dégradation de la rhizosphère. (**Ali et al., 213 ; Rezaniet al., 216**).

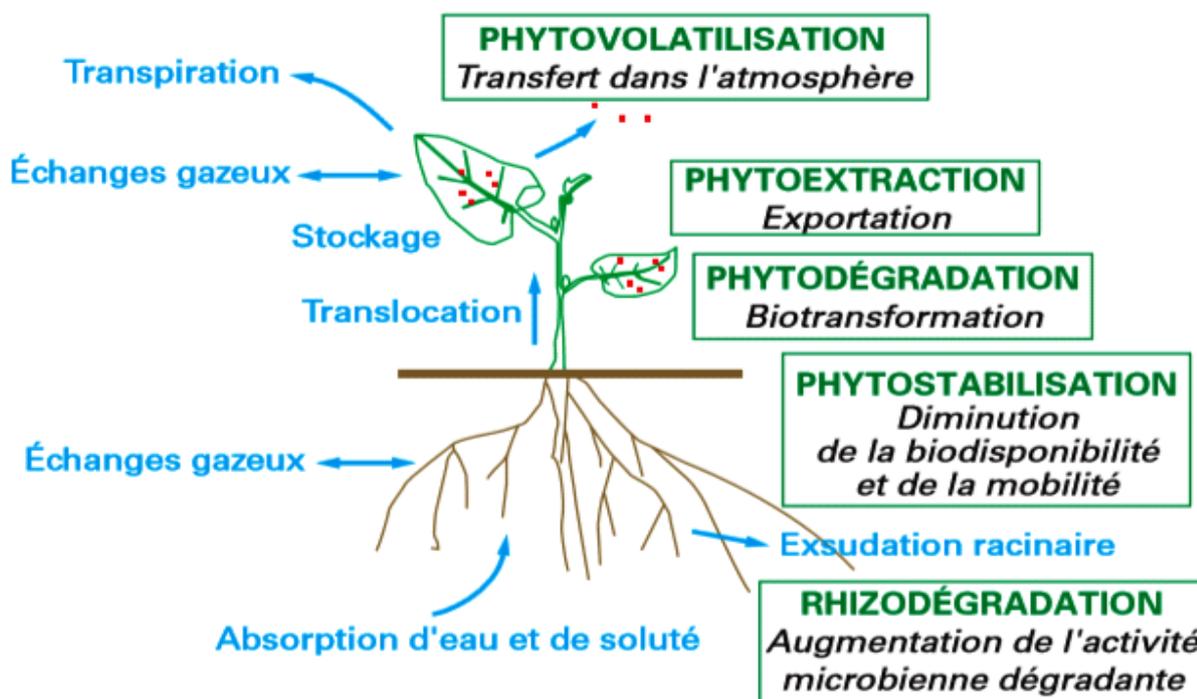
La phytoremédiation n'est pas un concept contemporain (**Walton et Anderson, 1992, Cunningham et Lee, 1994**), les plantes ont été utilisées pour traiter l'eau il y a 3 ans. Cependant, depuis le milieu des années 1970, avec divers rapports indiquant que les pesticides persistent généralement plus longtemps dans les sols non végétalisés, une dépollution à base de plantes a été proposée pour les boues nettoyées et les sols contaminés par les métaux et les toxiques organiques. Cette méthode s'est aussi développée dans le contrôle de la pollution de l'air. Dans les années 1990, différents chercheurs ont suggéré que la végétation pourrait être utilisée pour augmenter la dégradation microbienne des polluants (**Walton et Anderson, 1992**).

### **I.3.2. Principe de la phytoremédiation**

Ceux-ci ne sont pas exclusifs. Ils permettent soit d'éliminer traces métalliques du sol ou ils se sont accumulés, soit de les insolubiliser afin de réduire leur mobilité dans le sol (Imptens et al., 1991). et associées d'amendement du sol et de technique agricoles pour bloquer, extraire, accumuler, transformer ou détruire les contaminants environnementaux. Ces techniques sont utilisées pour le traitement des sols boues, sédiments, effluents liquides voire gazeux et s'appliquent aux polluants organiques mais aussi inorganiques comme les métaux lourds ou les radioéléments (Cunningham et al, 1995; Dechamp et Meerts, 23). Au cours de l'évolution, les plantes ont développé des mécanismes pour s'adapter et se multiplier dans des conditions hostiles. Les plantes ont donc mis en place des mécanismes racinaires qui immobilisent les métaux dans les racines et diminuent la translocation jusqu'aux feuilles où les métaux seraient toxiques. D'autres plantes ont développé des mécanismes complexes pour tolérer, absorber et transloquer des quantités significatives de métaux lourds et sont donc utilisées dans la remédiation **Cunningham et Lee (1994)**

Il existe plusieurs techniques de phytoremédiation. Parmi celles-ci, celles qui s'appliquent le plus souvent aux sols sont (Bert et Deram, 1999 ; Mulligan et al, 21):

- la phytodégradation
- la phytoextraction
- la phytostabilisation
- la phytovolatilisation

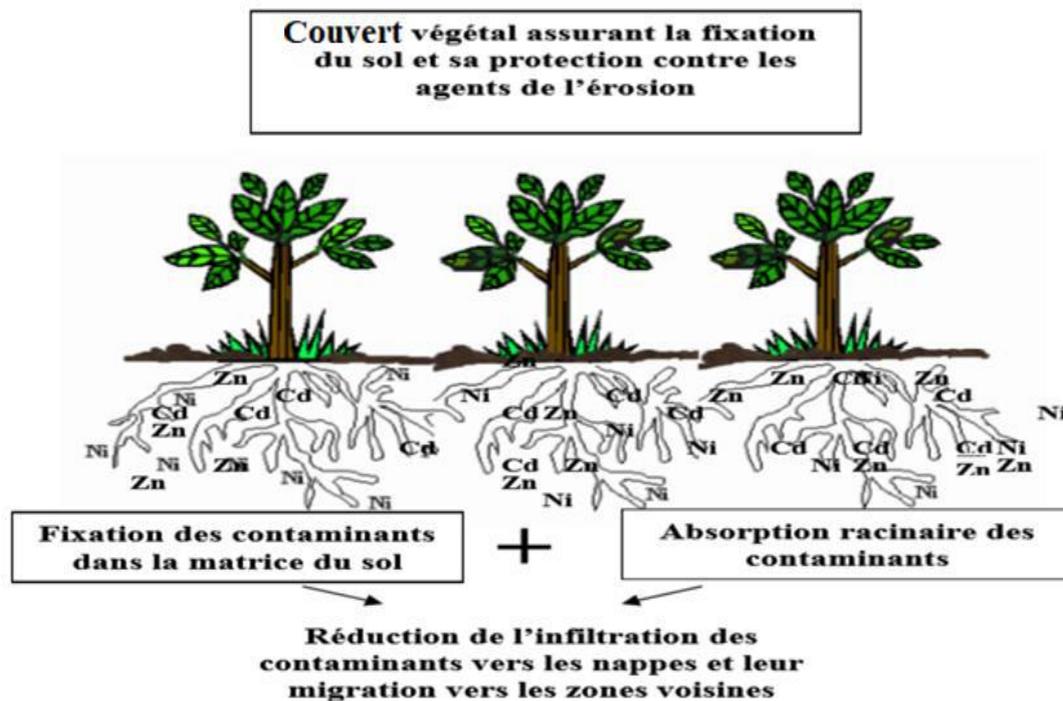


**Figure 1:** Principaux procédés de la phytoremédiation (Sterckemanet *al.*,211).

### 1.3.3. Différentes techniques de la phytoremédiation :

#### 1.3.3.1. Phytostabilisation

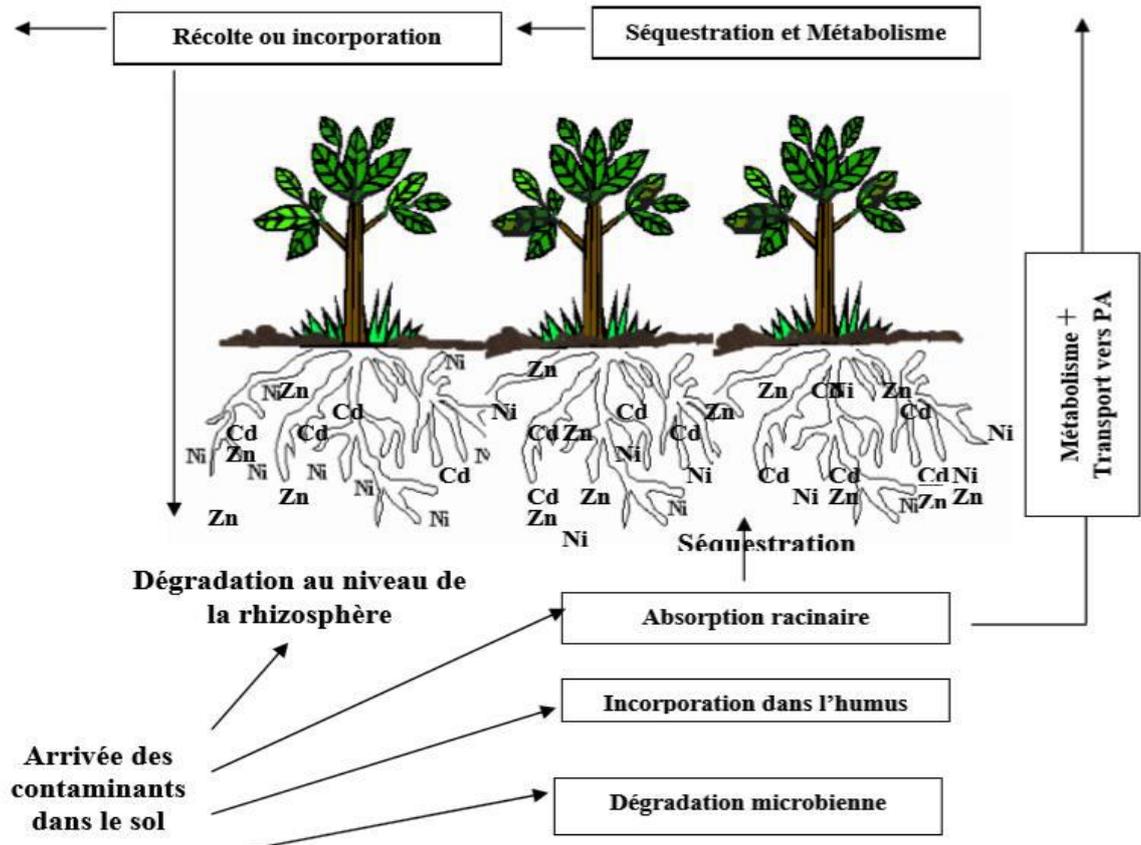
La phytostabilisation des plantes est le processus de réduction de la mobilité des métaux lourds dans l'environnement par adsorption et s'accumule dans les tissus racinaires, et dépose dans le système racinaire réduction ou de la valence des métallique de rhizosphère, les rendent inoffensifs et les empêchant d'entrée dans la chaîne alimentaire et les eaux souterraines (Wuana et Okieimen, 211). Les plantes phytostabilisatrices ont la capacité transformer des états métallique dangereux en un état relativement moins toxique Sicérite des oxydoréductases spéciales. Ces plantes contiennent un système racinaire étendu qui permet une bonne colonisation du sol et un contact facilement avec les métaux lourds. Avant de, peu d'espèces végétales comme *Agrostis capillaris*, *Festucarubraet* *Lupinusalbus*ont été identifiées comme plantes stabiliseurs de plantes (Kidd et *al.*,29 ; Vázquezet *al.*, 26).



**Figure 2:** Processus de la phytostabilisation des métaux lourds (Abdelly, 27) .

#### 1.3.3.1.1. Rhizodégradation (Phytodégradation)

La rhizodégradation fait référence par des effets (réduction/conversion) des ions de métaux lourds dans la rhizosphère par des microorganismes rhizosphériques (Tangahuet *al.*, 211 ; Ullahet *al.*, 215). La réduction significative des métaux dans la zone rhizosphérique peut être attribuée à des activités métaboliques accrues. Alternativement, les plantes peuvent augmenter l'activité microbienne environ 1 à 10 fois par la production de sucres dans les racines, des acides aminés, flavonoïdes, etc. Ces exsudats de racines d'origine végétale fournissent des sources de carbone et d'azote pour les micro-organismes de la rhizosphère et créent un environnement riche en nutriments, qui améliore l'activité microbienne. Les micro-organismes de la rhizosphère sont capables de produire divers agents qui jouent un rôle clé dans la mobilisation et la transformation des métaux lourds (Gadd, 21; Rajkumar *et al.*, 212).



**Figure 3:** Processus de la phytodégradation des métaux lourds (Abdelly, 27).

### 1.3.3.2. Phytoextraction

L'extraction des plantes est la méthode la plus simple et la meilleure pour éliminer les métaux lourds principalement du sol contaminé, sans altérer la fertilité et la structure du sol (Ullah *et al.*, 2015). Extraits des plantes, les plantes ont une variété de propriétés qui permettent de tolérer et d'extraire les métaux lourds de l'environnement contaminé. Il se caractérise par une croissance rapide, une biomasse élevée, un système racinaire étendu, une facilité de culture, une adaptation aux différentes conditions environnementales et une répulsion des herbivores (Seth, 2012 ; Chatterjee *et al.*, 2013). Auparavant, des espèces végétales telles que *Brassicajuncea*, *Helianthusannuus*, *Thlaspi caerulescens*, *Alyssum sp*, *Astragalus racemosus* et *Sedum alfredii* existaient en tant qu'hyperaccumulateurs avec une croissance rapide et accumulation maximale de métal dans les bourgeons (Milner *et Kochian*, 2008 ; Lu *et al.*, 2008 ; Deng *et al.*, 2008).

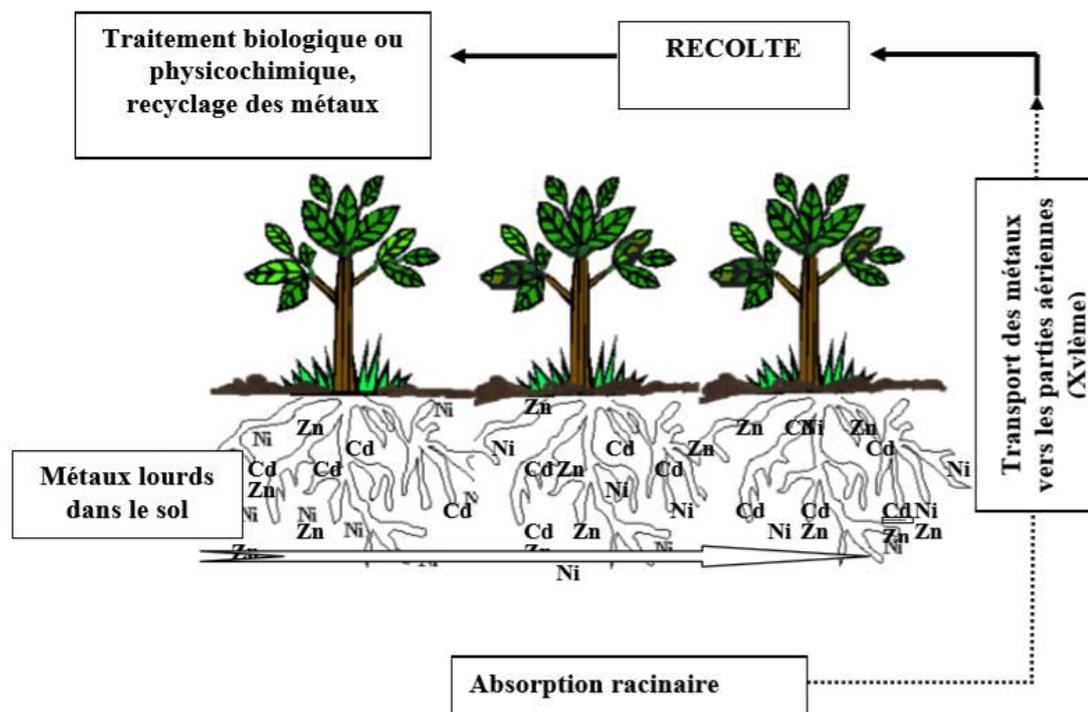
### **I.3.3.3. Phytoremédiation par extraction des polluantes :**

#### **I.3.3.3.1. Phytoaccumulation :**

Ce mécanisme permet d'extraire et d'accumuler des polluants dans les plantes mais sans que ces derniers ne subissent de dégradation ou de transformation.

La phytoaccumulation est observée pour une majorité des EMT et dans des cas plus rares pour des polluants, organiques comme les perchlorates (Meagher, 2 ; Susarla *al.*, 22). Certaines plantes dites hyperaccumulatrices sont capables d'emmagasiner des grandes quantités d'éléments métalliques. Les polluants absorbés peuvent ensuite être extraits des tissus végétaux. Lorsque le but est de récolter les plantes, celles-ci doivent être capables de transporter ces polluants des racines vers leurs parties aériennes. En effet, si les polluants demeurent dans les racines, le but est de récolter les plantes, celles-ci doivent être capables de transporter ces polluants des racines vers leurs parties aériennes. En effet, si les polluants demeurent dans les racines, l'efficacité du traitement s'avère amoindrie, certaines racines ne pouvant être arrachées, entièrement. Ceci aurait pour conséquence de libérer les polluants préalablement piégés.

Un métal est dit hyperaccumulé lorsque sa masse dans les différents tissus de la plante est supérieure à ,1 % de la masse sèche de la plante, soit 1 g / kg (Baker et Brooks, 1989).



**Figure 4:** Processus de phytoextraction des métaux lourds (Abdelly, 27).

#### 1.3.3.4. 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 récolter de la biomasse puisque les contaminants sont dispersés dans l'atmosphère (Bert et Deram, 1999 ; Dechamp et Meerts, 23 ; Pilon-Smits, 25).

#### 1.3.3.5. Phytofiltration

La phytofiltration définie comme étant l'utilisation des racines des plantes pour absorber, concentrer et/ ou précipiter les composés dangereux, en particulier des métaux lourds, ou les radionucléides (Prasad, 23) d'un effluent liquide (Koller, 24).

### 1.3.4. Avantages et limites de la phytoremédiation

Les principaux avantages de phytoremédiation selon Koller (24)

- L'adéquation avec les principes du développement durable (par exemple le site est faiblement perturbé) :
- Un traitement adapté pour les grandes surfaces contaminées.
- Une faible perturbation du milieu contaminé
- La possibilité d'une valorisation foncière (par exemple aménagement paysager pérenne) ;
- La possibilité d'une gestion *in situ* des terres par rapport aux techniques nécessitant une excavation et du transport ;
- Une technologie visuellement attractive
- Une bonne image aux yeux du public
- Le maintien ou la restauration d'une flore et faune adaptées, garantes de la fonctionnalité des sols (**Dumat et Austruy, 214**)

En plus concentration des métaux lourds dans les plantes peut être aussi utilisé dans d'autres domaines, par exemple, comme un indicateur de nouveaux gisements (dépôts) de minéraux (Lutts et al., 24).

Cependant, la plupart des plantes hyperaccumulatrices sont difficiles à gérer et ont un système racinaire peu profond, leur intérêt est limité par conséquent dans le cas de contamination moins profonde (Keller et al., 23). En plus, le temps de traitement est généralement long, le procédé dépend de la météorologie, des attaques des insectes, des micro-organismes et des substances phytopathogènes. En outre, la superficie des sites doit être suffisamment grande pour l'utilisation des techniques agricoles (Koller, 24).

Dans certains cas, la phytoremédiation doit être accompagnée d'un travail de sol visant à le fertiliser et à lui redonner une structure ou une composition plus favorable au développement d'un milieu vivant (**Vanobberghen, 21**).

La culture de plantes monospécifiques agit souvent sur seulement 2 à 3 métaux lourds. Or, la plupart des sols présentent une plus grande variété de contaminants. (ADEME, 211).

### 1.3.5. Critères de choix des espèces végétales accumulatrices

Une plante idéale pour éliminer les métaux lourds du sol devrait avoir les propriétés suivantes (Kotrbaet al.,29) :

- Une capacité importante d'hyperaccumulation et de tolérance des métaux lourds ;
- Une croissance rapide de la plante et de la biomasse ;
- Un système racinaire bien développé et largement ramifié ;
- Une distribution géographique étendue ;
- Être facile à développer et à cultiver ;
- Être facile à récolter ;
- Capable d'être modifier génétiquement.

Ces plantes sont aussi appelées métalphytes. Certains métalphytes bien établis ont été produits par manipulation génétique et semblent donc être de bons spécimens de plantes génétiquement modifiées pour la phytoremédiation, par exemple *Helianthusannuus*(tournesol), *Nicotiana glaucum*et autres espèces végétales (Kotrbaet al.,29).

### 1.3.6. Espèces végétales accumulatrices des métaux

Plusieurs plantes ont été trouvées tolérantes aux métaux, et sont appelées exclueuses et sont capables de restreindre l'absorption des métaux et/ou la translocation depuis les racines vers les parties aériennes (Baker, 1981), et elles poussent sur des milieux présentant des concentrations élevées en métaux toxiques (Prasad et Freitas, 23). exemple: les halophytes)

#### 1.3.6.1. Cas des halophyte

Le terme halophyte (du grec « halo » : sel et « phyt(o) » : plante) définit un organisme végétal qui vit, croît et se reproduit naturellement dans un milieu salin. Par opposition, un glycopyte (du grec « glyco» : sucré) ne peut

croître en milieu salin. L'halophilie est l'aptitude d'une espèce végétale à réaliser son cycle de développement en milieu

fortement salin. Les halophytes sont des plantes naturellement tolérantes aux sels solubles et poussent aussi bien dans un environnement salin qu'en conditions normales (**Malcolm et al., 23**).

Les halophytes ont la capacité de réexpédier l'excès de sel présent dans leurs feuilles vers les racines par l'intermédiaire de la sève descendante (*excluser*). Par ce mécanisme d'exclusion, couplé à des systèmes de transport sélectif permettant d'absorber les ions nutritifs utiles et de ré-excréter les ions  $\text{Na}^+$ , la plante empêche les sels de remonter dans la sève jusqu'aux feuilles. Un second mécanisme de tolérance aux sels est présent dans les feuilles.

Les halophytes utilisent les sels pour ajuster la pression osmotique de leurs cellules. Elles laissent donc monter les sels dans leurs parties aériennes pour les stocker dans les vacuoles et les isoler des constituants cellulaires vitaux (**Parida et Das, 25**).

#### **I.4. L'orge :**

L'orge (*Hordeum vulgare* L.) est l'une des plus anciennes plantes domestiquées (Nevo&Shewry, 1992), et aujourd'hui la quatrième céréale la plus cultivée au monde après le maïs, le riz et le blé (Newton et al., 211). Son aire de culture s'étend des climats subarctiques à subtropicaux (Gupta et al., 21). Emblavée sur près de 5 millions d'hectares à l'échelle mondiale (moyenne 21- 214 - FAO, 217), environ deux tiers de la production d'orge est utilisée pour l'alimentation animale, un tiers pour la production de malt et 2% directement pour l'alimentation humaine (Baik and Ullrich, 28).

L'orge occupe le quatrième rang dans la production céréalière mondiale avec 136 millions de tonnes en 27, après le blé, le maïs et le riz (Anonyme b, 28). C'est une espèce adaptée aux systèmes de culture pratiqués en zones arides où elle constitue avec l'élevage ovin l'essentiel de l'activité agricole (Hakimi, 1989) (in Menad, 29).

Selon Belaid (1996), l'orge est une espèce très rustique et peut donc être cultivée dans les zones marginales à sols plus ou moins pauvres, là où le blé ne peut donner des résultats satisfaisants. En outre, cette espèce est assez intéressante compte tenu de sa tolérance au sel et à la sécheresse. La période entre la moitié de novembre jusqu'à la moitié de décembre est considérée comme la période idéale pour sa culture.

L'orge est souvent considérée comme une céréale secondaire, alors qu'elle a des potentialités voisines de celle du blé (Gate et al., 1996) (in Mossab, 27). Toutefois, l'importance et les multiples usages de cette céréale lui confèrent une valeur stratégique dans l'alimentation animale comme plante fourragère et céréalière et lui permettent, en outre de jouer un rôle déterminant dans le comportement des marchés de l'ensemble des aliments du bétail (Sekkate et Leghzale, 1999) (in Mossab, 27).

L'orge est un fourrage de « référence » : 1 Kg de grain correspondant à une unité fourragère, contenant 75 g de matière azotées, qui en fait un

aliment très apprécié, pouvant se conserver très longtemps et être transporté sur de longues distances (Somel, 199) (in Mossab,27).Elle représente l'alternative là où les fourrages de substitution sont très peu représentés (Oudina et Bouzerzour, 1993) (in mossab,27).

L'orge contribue à l'augmentation de la concentration énergétique des rations que doivent recevoir le cheptel ayant une capacité de production accrue ou qui sont conduit d'une manière intensive (Araba, 1999) (in Mossab,27). Elle participe d'une façon importante à l'alimentation du cheptel sous différentes formes : grain, chaume, paille, fourrage vert comparativement à son rôle dans l'alimentation humaine (Benmahammad, 1995) (in Mossab ,27).

#### **I.4.1. Origine géographique et génétique :**

L'orge cultivée (*Hordeumvulgare*.L) de constitution génomique diploïde, est issue des formes sauvages de *Hordeumspontaneum* L, que l'on trouve encore aujourd'hui au Proche Orient. *Hordeumvulgare* L semble avoir pris naissance dans le croissant fertile, son centre d'origine.Des traces de cette espèce cultivée ont été trouvées dans les vestiges des habitants de la haute Egypte (Zohary, 1973 et Harlan, 1975) (in Mossab, 27).

#### I.4.2. Classification de l'orge :

D'après Chadefaud et Emberger (196), Prats (196) et Feillet (2), (in Souilah 29) l'orge cultivée appartient à la classification botanique suivante :

**Tableau 2:**classification de l'orge

<b>Règne</b>	Plantae
<b>Division</b>	Magnoliophyta
<b>Classe</b>	Liliopsida
<b>Sous classe</b>	Commelinidae
<b>Ordre</b>	Poale
<b>Famille</b>	Poaceae
<b>Sous famille</b>	Hordeoideae
<b>Tribu</b>	Hordeae
<b>Sous tribu</b>	Hordeinae
<b>Genre</b>	Hordeum
<b>Espèce</b>	Hordeumvulgare L

Line (1755), (in Souilah , 29) classe les orges selon le degré de fertilité des épillets et la compacité de l'épi, en deux groupes :

- Les orges à six rangs, dont les épillets médians et latéraux sont fertiles.
- Les orges à deux rangs, seuls les épillets médians sont fertiles.

Quant à Soltner (25), (in Souilah, 29) il classe les orges selon leur milieu de culture en 3 groupes : Les orges d'hiver, orges de printemps et les orges alternatives.

### **I.4.3. Description botanique :**

#### **I.4.3.1. L'appareil végétatif :**

Les graminées sont des plantes herbacées de petite taille, la plante se développe en produisant un certain nombre d'unités : les talles.

Le système racinaire Il est de type fasciculé, composé de deux systèmes qui se forment au cours de développement :

- Un système primaire ou séminal s'étalant de la germination à la ramification de la plantule « tallage »
- Un système secondaire ou système de racines coronaires apparait au moment où la plante se ramifie « tallage »

#### **I.4.3.1.1. Le système aérien :**

##### **i. La tige :**

Sur la partie aérienne des céréales, on distingue une tige principale « le maitre brin » et des tiges secondaires « les talles » qui naissent à la base de la plante (Gonde et Jussiaux, 198, Boulalet al ., 27) ( in Kellil, 21).Quant aux entrenœuds et selon Belaid(1996), ils sont creux chez les blés tendres, l'orge et l'avoine, et pleines chez les blés durs. L'orge est caractérisée par un fort tallage supérieur à celui du blé et un chaume plus faible, susceptible à la verse par rapport que celui du blé (Camille, 198).

##### **ii. Les feuilles :**

Sont à nervures parallèles et formées de deux parties : la partie inférieure entourant la jeune pousse ou la tige : c'est la gaine, la partie supérieure en forme de lame : c'est le limbe qui possède à sa base deux prolongements arqués glabre, embrassant plus ou moins complètement la tige ; les oreillettes ou stipules. A la soudure du limbe et de la gaine se trouve une membrane non vasculaire entourant, en partie, le chaume : la ligule qui est bien développée (Belaid, 1996 et Camille, 198)

#### **1.4.3.2. L'appareil reproducteur :**

L'orge est autogame. Son inflorescence est un épi composé d'unités morphologiques de base : les épillets « groupes de fleurs » enveloppées de leurs glumelles et incluses dans deux bractées ; les glumes (Belaid, 1996).

##### **a. Le grain :**

Le fruit des graminées est un caryopse où le grain est soudé aux parois de l'ovaire, c'est un fruit sec indéhiscent. Chez l'orge le grain est vêtu; le péricarpe du grain se soude aux glumelles (Belaid, 1996).

##### **b. Cycle de développement :**

Les graminées sont des espèces annuelles. Selon (Soltner, 25, Prats et Grandcourt, 1971, Hadria 26) (in Bellebcir, 28) une série d'étapes, séparées par des stades repères, permettant de diviser en deux périodes la vie des céréales. Il s'agit :

- La période végétatif : comportant la germination, la levée et le tallage.
- La période reproductive : comportant la montaison, l'épiaison, la floraison (qui se développent elle-même en deux stades : stade laiteux et stade pâteux) et la maturité complète.

#### **1.4.4. les variétés d'orge utilisées en Algérie :**

Selon Anonyme a (S.D), Ils existent actuellement 25 variétés d'orge en Algérie. Les plus cultivées sont Saida183, Tichedrett et Rihane 3(Anonyme b, 26).

**La variété RIHANE 3 :****Tableau 3 :** les critères générales de la variété rihane

Obtenteur	ITGC. (Selection)
Pedigree	AS 46 /AVT11ATHS 2L-1AP-3AP-OAP
Originex	ICARDA (Syrie).
Demandeur	ITGC.
Type de variété	lignée pure.
Zone d'adaptation	plaines intérieures.

**1.4.4.1. Caractéristiques morphologiques :****Tableau 4 :** les critères morphologiques de la variété rihane

Compacité de l'épi	compact.
Couleur de l'épi	blanc.
Hauteur de la plante à la maturité	9cm

**1.4.4.2. Caractéristiques culturales :****Tableau 5 :** représentation des caractères culturales de la variété rihane

Alternativité	hiver
Cycle végétatif	Précoce
Tallage	fort



# **MATÉRIEL ET MÉTHODES**

---

## **II.1. Matériels et méthodes :**

### **II.1.1. Matériel végétal :**

Le matériel végétal utilisé est l'Orge (Rihane *Hordeum vulgare* L.) variété National, de la famille des Fabacées, la plante a été choisie en raison de son utilisation au laboratoire comme plante modèle pour les études d'éco-toxicologie de différents polluants, ainsi pour son meilleur taux de germination, sa croissance rapide et sa biomasse importante.

### **II.1.2. Conduite de l'essai et traitements :**

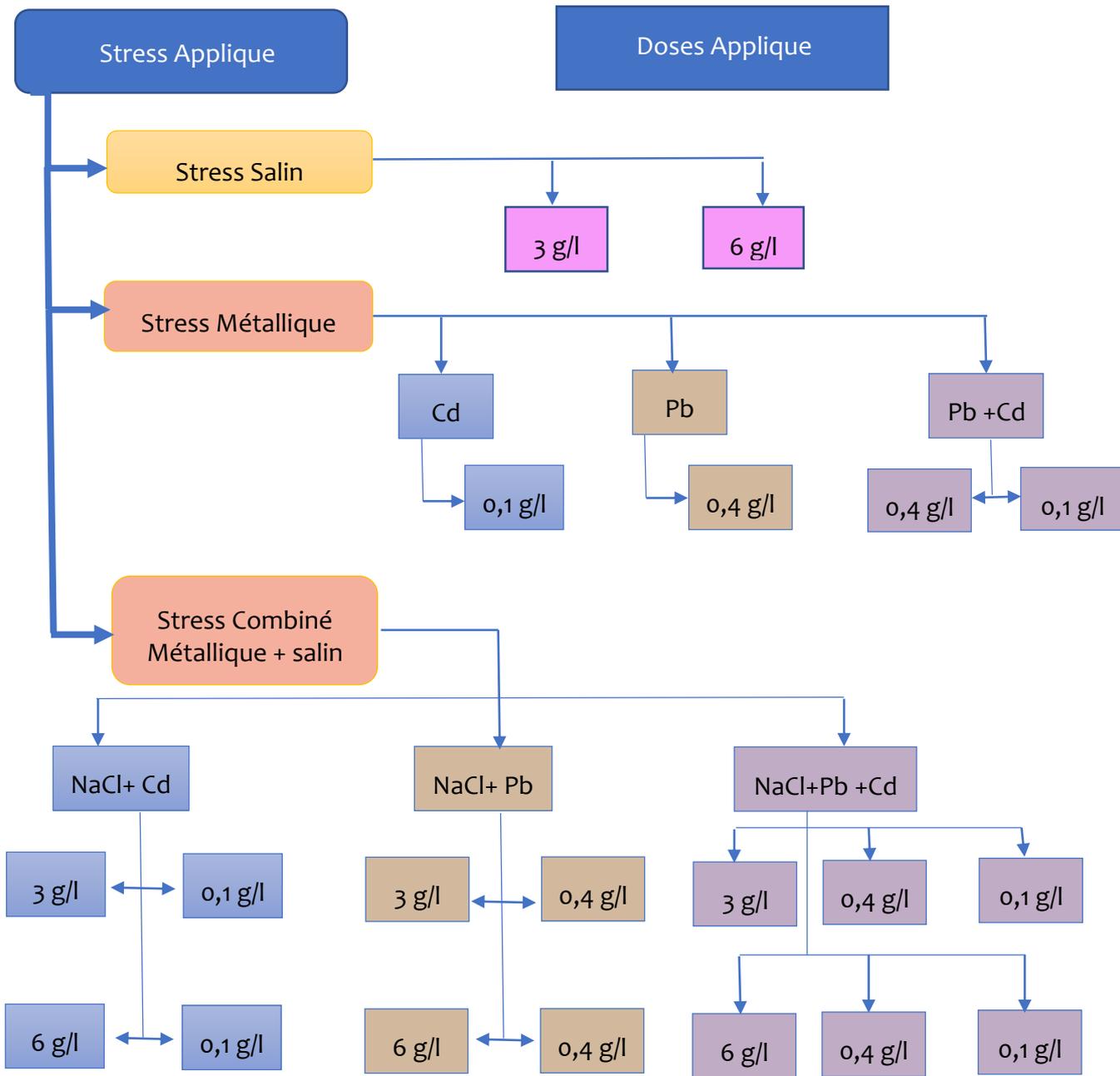
Les essais ont été menés au niveau du laboratoire de biologie végétale de l'université de Saida. Les graines (Fig. 6) ont été sélectionnées et désinfectées à l'hypochlorite de sodium à 1% pendant 5 minutes, pour éliminer toute contamination fongique. Puis rincées rigoureusement et abondamment à l'eau distillée 3 à 4 fois pendant 5 min. elles sont ensuite, mises à germer dans des boîtes de pétri sur papier filtre. Quatre jours après, les plantules ont été transplantées dans des pots en plastique remplis de tourbe. Les graines et les plantules sont traitées par les métaux (acétate de plomb  $Pb(CH_3COOH)_2$  et Cadmium Cd) sans ou accompagné de NaCl à raison de deux concentrations différentes (0,4g/l et 0,1g/l) contre un lot témoin.

Dans ce contexte, la présente étude porte sur l'évaluation de :

- L'effet combiné de la salinité et de métaux lourds (Pb, Cd) sur la germination de la plante.
- L'action de salinité sur l'accumulation des métaux lourds (Pb, Cd) de l'orge ((Rihane.)), et sur le transfert de ces métaux vers les parties aériennes de la plante

### **II.1.3. Préparation des solutions :**

Le stress métallique et salin est appliqué dès le premier jour de la culture d'orge, durant deux semaines (14 jours). Le plan expérimental (Fig.12) représente les différentes doses de sel (NaCl), de métaux lourds (Pb et Cd) et la combinaison entre eux.



**Figure 5:** Doses de sel (NaCl) et métaux lourds (Pb, Cd) appliquées durant le stress.



**Figure 6 :** sélection des gaines d'orge pour la mise en culture dans des boîtes pétri



**Figure 7 :** les graines d'orge après trois jour de germination sou différents traitements

### **II.2. Récoltes des plantes :**

A la fin de l'expérimentation (2 semaines de culture), les plantes sont débarrassées de leur substrat, rincées par l'eau distillée, puis séchées sur du papier filtre.

### **II.3. paramètres étudiés :**

Les mesures effectuées sur les paramètres morphologiques des plantes (pourcentage de germination, nombre de feuilles et racines, hauteurs de parties aériennes

et racinaires) ont été réalisées chaque semaine de l'exposition au plomb, Cd et Salinité. Par ailleurs l'étude des paramètres biochimiques a été réalisée à la fin de l'expérimentation.

Une observation visuelle (décoloration, jaunissement, dépigmentations, flétrissement...) a été signalée.

### **II.3.1.1. Paramètres morphologiques :**

#### **II.3.1.1.1. Pourcentage de germination :**

C'est le pourcentage maximal de grains germés sur le nombre total de grains mis à germer, elle s'exprime en pourcentage (%) selon la formule suivante. Rappelons que la germination des grains est considérée positive quand les radicules atteignent 5 mm de longueur (Kauret Duffus; 1989).

$$\text{Taux de germination \%} = \frac{NG}{NGG} \times 100$$

NG: nombre de graines germées.

NGG: nombre de graines mises à germer.

### **II.3.2. Paramètres biochimiques:**

#### **II.3.2.1. Dosage des éléments traces métalliques présents dans les plantules d'orge :**

A la fin de la culture, les plantules ont été prélevées afin de déterminer la teneur en métaux, plomb et Cd. Les plantes ont été préalablement séchées à l'étuve à 4°C jusqu'à l'évaporation de l'eau. Ces plantules ont été ensuite broyées jusqu'à l'obtention d'une poudre dont la granulométrie est très fine (< 2µm). Ce broyage a été suivi d'un tamisage (2µm). Les échantillons obtenus ont été mis dans des capsules en polyéthylène auxquels on a ajouté 2 ml de l'acide nitrique et 6 ml de l'acide chlorhydrique pour la minéralisation qui avait lieu dans l'étuve à 8°C pendant une heure. Le dosage des métaux a été réalisé par spectrophotomètre UV/V Optisen 3220UV.

Le facteur de bioaccumulation (BCF) des ETM, qui exprime la capacité des plantes à extraire les métaux traces à partir de son support de culture, a été calculé selon la formule :

$$\text{BCF} = C_{\text{pl}} / C_{\text{sol}}$$

Avec  $C_{pl}$  ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) est la concentration du métal chez les plantules d'orge et  $C_s$  ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) est la concentration du métal dans la solution nutritive. Selon Baker (1981), si le  $BCF < 1$  l'espèce étudiée est exclusive d'ETM, si le  $BCF = 1$  l'espèce est indicatrice, alors que si le  $BCF > 1$  l'espèce est un accumulatrice.

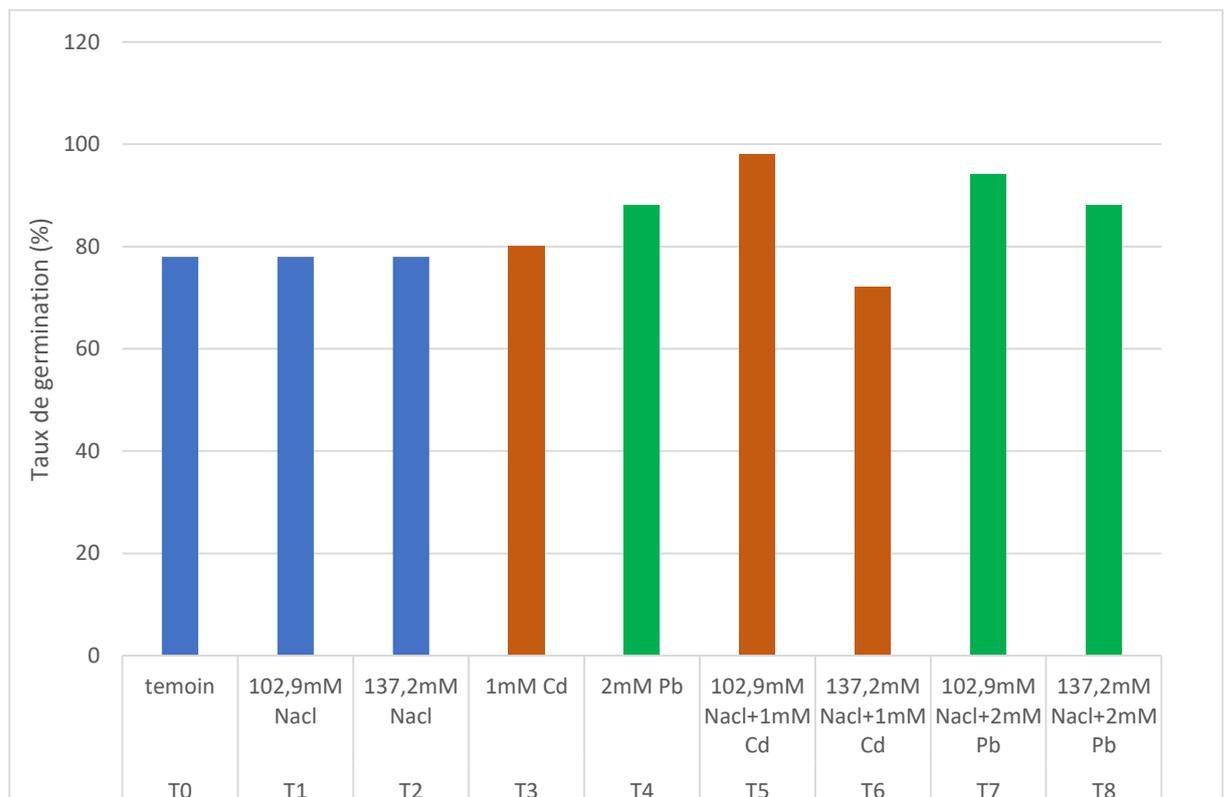
# RÉSULTATS ET DISSCUSIONS

**III.1. Résultats et discussion :**

**III.1.1. Effet du Cd, Pb et NaCl sur les paramètres morphologiques :**

**III.1.1.1. Taux de germination :**

Le taux de germination correspond au pourcentage de graines germées après 14 jours divisé par le nombre de graines mises en germination.



**Figure 8 :** Variation des taux de germination final en fonction des traitements

Nos résultats ( Figure 7) montrent que les graines d’orge ont réagi différemment aux traitements au pb,Cd et NaCl durant les phases de germination étudiées. En effet,

la germination des graines a augmenté de manière significative chez les graines traitées par la combinaison Sel-Cadmium (Cd+3g/l NaCl), Sel-Pb ou Sel, Cd et Pb seul . La diminution de taux de germination s’avère non significative au niveau des graines traitées par la combinaison Sel-Cd (Cd+6g/l NaCl) (Fig .7).

Certaines études ont montré que l’augmentation de la concentration des sels retarde la germination (Askri et al.,27), et réduit le pourcentage final de germination (Othman et al., 26 ; Askri et al., 27 ; Bouda et Haddioui, 211 ; Yousofinia et al., 212 ; Mranilaoui et al., 213 ;

El Goumi, 214 ; Ndiaye et *al.*, 214). Cette diminution est due selon Othman et al. (26), à la réduction de l'utilisation des réserves des grains. Norlyn(198), in Zid et Grignon (1991) ; Shannon et al. (1993), considèrent qu'il n'y a pas de corrélation entre le rendement au stade adulte et la résistance au stress salin en phase de germination. Cependant, Khan et Rizvi (1994), signalent que la germination est un facteur déterminant pour la réussite de la croissance des plantes en milieu.

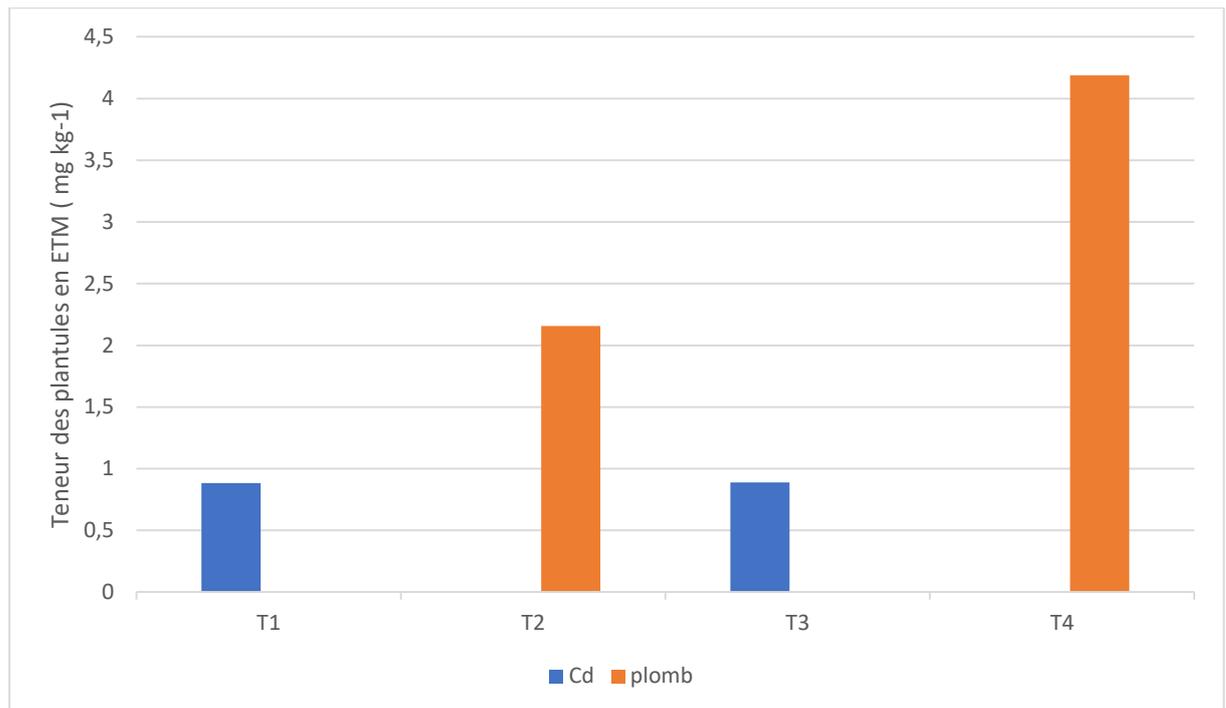
Les observations morphologiques sont également en accord avec les travaux de Rechachi M,Z et *al* 22 qui confirment la tolérance de l'orge aux contraintes salines.

### **III.1.2. Effet du Cd, Pb et NaCl sur les paramètres biochimiques :**

#### **III.1.2.1. Teneur de Plomb et de Cd dans les parties racinaires :**

Les résultats obtenus (Fig.8), montrent que l'orge accumule dans ces parties racinaires des quantités importantes de Pb par rapport au Cd, en fonction de la concentration de Pb, Cd et l'interaction Pb-NaCl, Cd-NaCl dans la solution d'arrosage, dont l'accumulation du Pb est supérieure dans la partie racinaire que le Cd. La combinaison de Pb(0,4g/l) avec(3g /l) de NaCl enregistre des quantités de Pb supérieures à celles enregistrées sous l'effet de Pb, néanmoins. La combinaison Cd(0,1g/l) avec (3g) /l de NaCl enregistre des quantités de Cd inférieures à celles enregistrées sous l'effet de Cd seul.

Les résultats indiquent que l'orge est accumulatrices d'ETM (BCF > 1), notamment le Pb. Ces éléments stockés au niveau de la plante peuvent par la suite contaminer toute la chaîne alimentaire. Il est bien connu que le Zn et le Cd sont très mobiles et facilement absorbés par les plantes (Ahumada et al. 1999; Hatira 24) dans des milieux pauvres en NaCl.

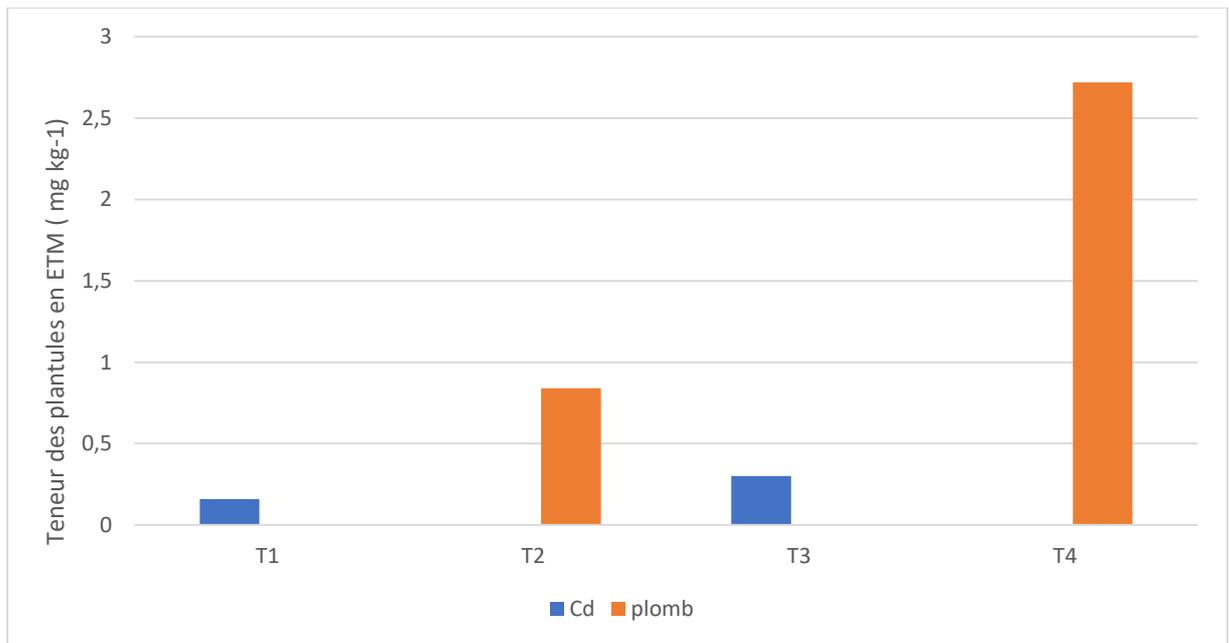


**Figure 9:** Teneurs des parties racinaires d'orge en éléments traces métalliques appliqués à des concentrations différentes (T1 : 0,1g/l (Cd), T2: 0,4g/l (Pb), T3(0,1g/lcd+3g/l nacl)T4(0,4g/lPb+3g/lNacl)

### III.1.2.2. Teneur de Plomb et Cd dans les parties aériennes :

Les résultats de la figure 9 montrent que l'ajout de ,1g/l de Cd dans le milieu de culture en absence de chlorure de sodium donne une quantité du métal dans les parties aériennes, égale a ,1mg/kg-1MS , (Figure 2). Par ailleurs Nous observons que l'addition du NaCl avec le Cd dans le milieu de culture modifie l'accumulation de ce dernier dans la plante En effet, les teneurs endogènes en Cd augmentent dans la plante avec l'ajout de NaCl. Cet effet est plus prononcé dans les parties aériennes avec une accumulation maximum de ,4mg/kg-1 par rapport aux parties racinaires où l'accumulation du Cd est constante, équivalente en moyenne à ,9mg/kg-1.

l'ajout du Pb dans le milieu de culture en absence de sel fait augmenter son accumulation dans les parties aériennes où sa valeur est de ,7mg/kg-1 largement supérieure que le Cd. Ces valeurs sont légèrement améliorées en présence de NaCl où l'accumulation totale de Pb atteint 2,7mg/kg-1 au cours du traitement.



**Figure 10 :** Teneurs des parties aériennes d’orge en éléments traces métalliques appliqués à des concentrations différentes (T1 : 0,1g/l (Cd), T2: 0,4g/l (Pb), T3(0,1g/lcd+3g/l nacl)T4(0,4g/lPb+3g/lNacl)

Chez les plantes, la salinité est un facteur clé dans la translocation des métaux des racines vers les parties aériennes. Notre étude montre que l’accumulation de Cd et du Pb dans les feuilles et les racines de la variété Raihaneaugmente en fonction de la présence de NaCl dans le milieu.

Nos résultats diffèrent de ceux de Mariem et *al.*, (214) obtenus avec *Sesuviumportulacastrum* qui montrent que chez les halophytes la concentration de Cd n’augmente pas lorsque la concentration saline augmente dans le milieu de culture. Chez *Sesuviumportulacastrum*, le sel empêche la translocation du Cd vers les parties aériennes. Des données similaires ont également été observées avec le plomb chez *Atriplexhalimus* (Kadukova et al., 27). Par contre, le comportement d’*Atriplexnummulariase* rapproche de celui de l’orge. En effet, Wahla et Kikham (28) ont montré que chez l’orge la translocation du Cd dans les feuilles est plus élevée en présence qu’en absence de NaCl dans le sol. Il apparaît clairement que le comportement du Cd et notamment sa translocation diffère d’une espèce à l’autre.

Des résultats controversés ont été obtenus Chakroun et *al.* (21) qui ont rapporté que l’orge collectée dans le district minier a été fortement contaminée par le Pb et le Cd et, dans une moindre mesure, par le Zn et le Cu. Ceci pourrait être attribué à plusieurs facteurs,

notamment les variétés testées ou encore le pH du sol qui influence largement le transfert du Cd et du Pb du sol vers la plante. Il a été même démontré que les pH élevés peuvent réduire la biodisponibilité et la toxicité du Cd et du Pb (McBride et al. 1997; Gray et al. 1999).

Cependant, d'autres expériences doivent être envisagées avec l'utilisation de concentrations plus importantes de Cd et de Pb afin de voir si la variété raihana est capable d'accumuler autant de Cd ou de Pb que d'autre variété d'orge.

# CONCLUSION ET PERSPECTIVES

---

#### IV.1. Conclusion

Afin de mieux connaître les mécanismes du transfert des métaux lourds du sol vers la plante, il est nécessaire de connaître les teneurs métalliques pouvant être accumulées par les organes végétatifs.

Les résultats obtenus montrent que le stress des métaux lourds induit des changements dans les plantes conduisant à une diminution de la surface foliaire, inhibent l'allongement de la racine, réduisent la hauteur de la plante, une perturbation des fonctions physiologiques et biochimiques,

À la fin de ce travail, que nous avons mené sur la réponse de la variété Raihane d'orge (*Hordeum vulgare* L.) irriguée par différentes concentrations de Pb (0,4g/l) et de Cd (0,1g/l) additionnées séparément aux chlorures de sodium de 3g/l, dans le but de déterminer l'effet combiné du stress salin-métallique sur les paramètres morpho-physiologiques et biochimiques. Il ressort que la combinaison stress salin-métallique exerce chez la variété Raihane un effet positif sur les paramètres morphologique et biochimique.

Les plantes d'orge étudiées présentent une tolérance au Pb, Cd et NaCl car elles survivent à la présence de forte concentration de ce métal dans le milieu de culture pendant 14 jours en restant vertes. De plus elles sont capables d'accumuler des quantités de métaux lourds comparables à celles retrouvées dans des plantes réputées pour leur forte capacité d'accumulation telles que *Brassica juncea* (Meyers et al., 2008).

À la lumière de ces résultats, l'orge donne l'image d'une plante hautement tolérante à la salinité avec comme seuil limite 6g/l NaCl ce qui permet de la classer parmi les plantes à préconiser pour la mise en valeur des sols salés. En outre cette plante est recommandée aussi d'être utilisée pour la décontamination des sols agricoles salins riches en métaux lourds et les sols agricoles irrigués par l'eau saline, vu que la salinité modérée peut améliorer assez efficacement la tolérance de l'orge au Pb, Cd et l'accumulation de ces métaux dans les parties aérienne et racinaire de la plante, ce qui devrait être pris en compte lors du développement de technologies innovantes de phytoremédiation.

#### **IV.2. perspective :**

Suite aux résultats que nous venons de décrire, nous pouvons proposer quelques orientations afin d'apporter de nouvelles informations sur les réponses de l'orge aux stress métalliques.

➤ Il serait indispensable de faire d'autres études pour l'identification des gènes responsables de la tolérance au stress métallique.

➤ Une expérimentation directe de l'orge sur des sites pollués serait nécessaire pour se rapprocher d'avantage des conditions naturelles dont l'objectif est de proposer l'orge comme plante phytoremédiatrice afin de dépolluer et réhabiliter les sites pollués par les métaux lourds en Algérie.

➤ Il serait en effet intéressant d'analyser l'évolution de l'activité des enzymes impliqué dans la réponse au stress métallique.

➤ Il serait important de tester la capacité de l'orge sous d'autres conditions expérimentales en tenant compte de l'âge de la plante car elle répond aux contraintes environnementales de manière différente au cours de son développement.

➤ Une étude histologique au niveau racinaire sera très intéressante pour affirmer la lignification des cellules racinaires en présence des éléments traces métalliques.



# **RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

---

**V.1. Références bibliographiques**

- Abdelly, (27). Bioremédiation / Phytoremédiation institut supérieur de l'éducation et de la formation continue. Université de Tunis.
- ADEME. 21. Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie ;
- Ahmad, P., Jaleel, CA., Sharma, S. (21a). Antioxidative defence system, lipid peroxidation, proline metabolizing enzymes and Biochemical activity in two genotypes of *Morus alba*L. subjected to NaCl stress. *Russ J Plant Physiol*57(4), 59–517
- Ahmad, P., Kumar, A., Gupta, A., Hu, X., Hakeem, KR., Azooz, MM., Sharma, S. (212). Polyamines: Role in Plants Under Abiotic Stress. In: Ashraf M, Ozturk M, Ahmad MSA, Aksoy A (eds) Crop production for agricultural improvement. Springer, Dordrecht/Heidelberg/London/ New York, 49–512.
- Ahmad, P., Nabi, G., Jeleel, CA., Umar, S. (211). Free radical production, oxidative damage and antioxidant defense mechanisms in plants under abiotic stress. In: Ahmad P, Umar S (eds) Oxidative stress: role of antioxidants in plants. Studium Press, New Delhi, pp 19–53
- Ahmad, P., Prasad, MNV. (212a). Environmental adaptations and stress tolerance in plants in the era of climate change. *Springer Science + Business Media*, New York.
- Ahmad, P., Prasad, MNV. (212b). Abiotic stress responses in plants: metabolism, productivity and sustainability. *Springer Science + Business Media*, New York.
- Ahmad, P., Sharma, S. (28).Salt stress and phyto-biochemical responses of plants. *Plant Soil Environ* 54(3), 89–99.
- Ahmad, P., Umar, S., Sharma, S. (21b).Mechanism of free radical scavenging and role of phytohormones during abiotic stress in plants. In: Ashraf M, Ozturk M, Ahmad MSA (eds) Plant adaptation and phytoremediation. Springer, Dordrecht/Heidelberg/London/New York, pp 99–18

- Ahsan N, Lee SH, Lee DG, Lee H, Lee SW, Bahk JD, Lee BH. 27. Physiological and protein profiles alternation of germinating rice seedlings exposed to acute cadmium toxicity. *C R Biologies*.33,735–746.
- Akhtar, N., Ahmad, KS., Hameed, M., Nawaz, F., Hamid, A., Segovia-Salcedo, C., Shahnaz, MM. (217). Leaf anatomical and biochemical adaptations in *Typha domingensis*pers. ecotypes for salinity tolerance.*Bot Sci* 95(4) DOI: <http://dx.doi.org/1.17129/botsoci.886>
- Akinci IE, Akinci S. 21. Effect of chromium toxicity on germination and early seedling growth in melon (*Cucumis melo* L.).*African Journal of Biotechnology*. 9, 4589-4594.
- Akinci, IE., Akinci, S. (21). Effect of chromium toxicity on germination and early seedling growth in melon (*Cucumis melo* L.).*Afr J Biotechnol*9, 4589-4594.
- Alamgir, ANM., Ali, MY. (1999). Effect of salinity on leaf pigments, sugar and protein concentrations and chloroplast ATPase activity of rice (*Oryza sativa* L.).*Bang J Bot* 28, 145–149
- Alcántara E, Romera FJ, Cañete M, De laGuardia MD.1994. Effects of heavy metals on both induction and function of root Fe(III) reductase in Fe-deficient cucumber (*Cucumis sativus* L.) plants. *Journal of Experimental Botany*. 45, 1893-1898.
- Aldoobie, NF., Beltagi, MS. (213). Physiological, biochemical and molecular responses of commom bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants to heavy metals stress. *Afr J Biotechnol*12, 4614-4622
- Algan O, Balkis N, Namikcagatay M, Sari E. 24. The sources of metal contents in the shelf sediments from the Marmara sea. *Journal of Turkey Environmental Geology*. 46, 932-95.
- Ali B, Qian P, Jin R, Ali S, Khan M, Aziz R, Tian T, ZhouW. 214. Physiological and ultra-structural changes in *Brassica napus* seedlings induced by cadmium stress. *Biologia Plantarum*., 58, 131-138.

- Ali MB, Singh N, Shohael AM, Hahn EJ, Paek KY. 26. Phenolics metabolism and lignin synthesis in root suspension cultures of *Panax ginseng* in response to copper stress. *Journal of Plant Sciences*. 171, 147-154.
- Ali NA, Bernal MP, Ater M. 22. Tolerance and bioaccumulation of copper in *Phragmites australis* and *Zeamays*. *Plant and Soil*. 239, 13-111.
- Ali SS, Kasoju N, Luthra A, Singh A, Sharanabasava H, Sahu A, Bora U. 28. Indian medicinal herbs as sources of antioxidants. *Food Research International*. 41, 1-15.
- Ali, H., Khan, E., Sajad, MA.(213). Phytoremediation of heavy metals- concepts and applications. *Chemosphere* 91, 869-881
- Ali, MB., Singh, N., Shohael, AM., Hahn, EJ., Paek, KY. (26). Phenolics metabolism and lignin synthesis in root suspension cultures of *Panax ginseng* in response to copper stress. *J Plant Sci* 171, 147-154
- Alloway BJ. 199. *Heavy Metals in Soils*. 1st Edn., Blackie, Glasgow, UK., ISBN-13: 97847215982, p 339.
- Alloway, BJ. (1995). Soil processes and the behaviour of metals. In: Alloway, B.J. (Ed.), *Heavy Metals in Soils*, 2nd edition. Blackie Academic and Professional, London, 11-37.
- Alloway, BJ. 1995. *Heavy Metals in Soils*. Blackie Academic and Professional, Chapman and Hall, London, p 368.
- Alloway, BJ., Steinnes, E. (1999). Anthropogenic additions of cadmium to soils. In : McLaughlin, M.J. and Singh, B.R., Eds. *Cadmium in soils and plants*, *Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands*, 97-123.
- Anderson C W N, Brooks R R, Stewart RB, Simcock R. 1998. Harvesting a crop of gold in plants. *Nature*. 395, 553-55
- Anderson CM, Hallberg A, Hogberg T. 1996. Advances in the développement of pharmaceutical antioxidant drug. *Food Chemistry*. 28, 65-18.

- Anderson JA, Churchill GA, Autrique JE, Tanksley SD, Sorrells ME. 1993. Optimizing parental selection for genetic linkage maps. *Genome*. 36 (1), 181-186.
- Angle S, Linacre N. 25. Metal phytoextraction. A survey of potential risks, *International Journal of Phytoremediation*. 7, 241-254.
- Ann Peer W, Baxter IR, Richards EL, Freeman JL, Murphy AS. 25. Phytoremediation and hyperaccumulator plants. *Topics Current Genetic*. 14, 299-34.
- Anonyme. 29. « Technical/Régulatory Guidance, Phytotechnology Technical and Regulatory Guidance and Decision Trees, Revised. » in [www.itrcweb.org/Documents/PHYTO-3.pdf](http://www.itrcweb.org/Documents/PHYTO-3.pdf), consulté le 12/7/1.
- Anuradha S, Rao SSR. 27. The effect of brassinosteroids on radish (*Raphanus sativus* L.) seedlings growing under cadmium stress. *Plant Soil and Environment*. 5, 465-472.
- Aoun M. 29. Action du cadmium sur les plants de moutarde indienne (*Brassicajuncea*L.Czern) néoformés à partir de couches cellulaires minces et issus de semis. Analyses physiologiques et rôle des polyamines. Thèse de doctorat en science, université de Bretagne occidentale. p 135.
- Aoun M. 29. Action du cadmium sur les plants de moutarde indienne (*Brassicajuncea*L.Czern) néoformés à partir de couches cellulaires minces et issus de semis. Analyses physiologiques et rôle des polyamines. Thèse de doctorat en science, université de Bretagne occidentale. p 135.
- Aoun M. 29. Action du cadmium sur les plants de moutarde indienne (*Brassicajuncea*L.Czern) néoformés à partir de couches cellulaires minces et issus de semis. Analyses physiologiques et rôle des polyamines. Thèse de doctorat en science, université de Bretagne occidentale. p 135.
- Arbona V, Marco AJ, Iglesias DJ, Lopez-Climent MF, Talon M, Gomez-Cadenas A. 25. Carbohydrate depletion in roots and leaves of salt-stressed potted *Citrus clementina* L. *Plant Growth Regulation*. 46, 153-16.

- Arduini I, Masoni A, Mariotti M, Ercoli L. 24. Low cadmium application increase miscanthus growth and cadmium translocation. *Environmental Experimental Botany*. 52, 89-1.
- Arfan M, Athar HR, Ashraf M. 27. Does exogenous application of salicylic acid through the rooting medium modulate growth and photosynthetic capacity in two differently adapted spring wheat cultivars under salt stress? *Journal Plant Physiology*. 6(4), 685-694.
- Arias M, Lopez E, Fernandez D, Soto B. 24. Copper distribution and dynamics in acid vineyard soils treated with copper-based fungicides. *Soil Science*, 169, 796-85.
- Arias-Estévez M, Novoa-Munoz JC, Pateiro M, Lopez-Periago E. 27. Influence of aging on copper fractionation in an acid soil. *Soil Science*, 172, 225-232.
- Arnetoli M, Vooijs R, Bookum VT, Galardi F, Gonnelli G, Gabbrielli R, Schat H, Verkleij JAC. 28. Arsenate tolerance in *Silene paradoxa* does not rely on phytochelatin-dependent sequestration. *Environmental Pollution*, 152, 585-591.
- Arris sihem. 28. Etude Expérimentale de l'Élimination des Polluants Organiques et Inorganiques par Adsorption sur des Sous Produits de Céréales, thèse de doctorat en sciences en genie des procedes. Université de Constantine. 1-11.
- Atici, Ouml, Aar G, Battal P. 25. Changes in phytohormone contents in chickpea seeds germinating under lead or zinc stress. *Biologia Plantarum.*, 49, 215-222.
- Attia F. 27. Effet du stress salin sur le comportement écophysologique et la maturité phénologique de la vigne *Vitis vinifera* L. : Etude de cinq cépages autochtones midi-pyrénées. Thèse de doctorat en sciences agronomiques. L'Institut National Polytechnique de Toulouse, France. p 194.

- Aubert D, Stille P, Probst A. 21. REE fractionation during granite weathering and removal by waters and suspended loads: Sr and Nd isotopic evidence, *Journal of Geochimica and Cosmochimica Acta*. 65, 387-46.
- Aubertot JN, Barbier JM, Carpentier A, Gril JJ, Guichard L, Lucas P, Savary S, Savini I, Voltz M. 25. Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et limiter leurs impacts environnementaux. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport, INRA et Cemagref (France), p 64.
- Aubouin J, Brousse R, Lehman J. 1975. *Précis de géologie*. Paris. p 717.
- Augé RM, Schekel KA, Wample RL. 1986. Greater leaf conductance of well-watered VA mycorrhizal rose plants is not related to phosphorus nutrition. *New Phytologist*. 13,17-116.
- Aurélié M. 29. Réponses physiologiques de végétaux supérieurs aux stress métalliques. Caractérisation du rôle des parois cellulaires dans les stratégies défensives des cellules de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) face aux éléments traces métalliques. Thèse de doctorat en sciences agronomiques. Université d'Artois, Faculté des Sciences Jean Perrin. Ecole Doctorale Biologie et Santé de Lille, France, p 153.
- Azzouz F. 211. Effect of the interaction lead-salinity on the physiological responses and biochemical evidence of a halophyte (*Atriplex halimus* L.) and a glycophyte (*Vicia faba* L.). *Memory of Magisterium*. p 65.
- Ayotamuno, JM., Kogbara, RB., Egwuenum, PN. 26. Comparison of corn and elephant grass in the phytoremediation of a petroleum-hydrocarboncontaminated agricultural soil in Port Harcourt, Nigeria. *J Food Agric Environ* 4, 218-222.
- Baba Ahmed A. 212. Etude de contamination et d'accumulation de quelques métaux lourds dans des céréales, des légumes et des sols agricoles irrigués par des eaux usées de la ville de Hammam Boughrara. Thèse de doctorat. Chimie de l'Environnement. Tlemcen. Algérie, p 256.

- Babich H, Stotzky G. 198. Environmental factors that influence the toxicity of heavy metal and gaseous pollutants to microorganisms. *CRC Critical Reviews in Microbiology*. 8, 99–145.
- Baccouch S, Chaoui A, El Ferjani E. 21. Nickel toxicity induced oxidative damage in *Zea mays* shoots. *Journal of Plant Nutrition*. 24, 185-197.
- Badawy SH, Helal MID, Chaudri AM, Lawlor K, McGrath SP. 22. Soil solid phase controls lead activity in soil solution, *Journal of Environmental Quality*. 31,162-167.
- Bahorun T, Gressier B, Trotin F, Brunete C, Dine T, Vasseur J, Gazin JC, Pinkas M, Luycky M, Gazin M. 1996. Oxygen species scavenging activity of phenolic extracts from hawthorn fresh plant organs and pharmaceutical preparations. *Arzneimittel-Forschung*. 46, 186-189.
- Baize D, Tercé M. 22. Les éléments traces métalliques dans les sols. Approches fonctionnelles et spatiales. INRA Editions, Paris, p 565.
- Baize D.1997.Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols. Références etstratégies d'interprétation. Editions INRA. Paris. France, p 48.
- Bajguz A. 211. Suppression of *Chlorella vulgaris* growth by cadmium, lead, and copper stress and its restoration by endogenous brassinolide.*Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 6, 46-416.
- Baker AJM, McGrath SP, Reeves RD, Smith JAC. 2. Métal hyper- accumulator plants: areview of the ecology and physiology of a biological resource for phytoremediation of metalpolluted soils. In N Terry, G Banuelos, eds, *Phytoremediation of contaminated soil and water*.Lewis Publishers CRC, Boca Raton. 85-17.
- Baker AJM, Morel JL, Schwartz C. 1997. Des plantes pour dépolluer les friches
- Baker AJM, Reeves RD, Hajar ASM. 1994. Heavy metal accumulation and tolerance in British populations of the metallophyte *Thlaspicaserulescens* J. et C. Presl (Brassicaceae). *New Phytologist*. 127, 61-68.

- Baker AJM, Walker PL. 1989. Physiological responses of plants to heavymetals and the quantification of tolerance and toxicity. *Chemical Speciation and Bioavailability*. 1, 7-17.
- Balasundram N, Sundram K, Samman S. 26. Phenolic Compounds in Plants and Agri- Industrial By-Products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. *Food Chemistry*. 99, 191-23.
- Balestrasse KB, Gallego SM, Benavides MP, Tomaro ML. 25. The polyamines and proline are affected by cadmium stress in the nodules and roots of soybean plants. *Plant and Soil*. 27, 343-353.
- Banzet N, Richaud C, Deveaux Y, Kazmaier M, Gagnon J, Triantaphylides C. 1998. Accumulation of small heat shock proteins, including mitochondrial HSP22, induced by oxidative stress and adaptative response in tomato cells. *Plant Journal*. 13, 519-527.
- Barber SA. 1995. *Soil Nutrient Bioavailability: A Mechanistic Approach*. 2nd Ed. John Wiley, New York.
- Barber SA. 1984. *Soil Nutrient Bioavailability: a mechanistic approach*. John Wiley and Sons, New York, Etats-Unis.
- Barcelo J, Pochenrieder CH, Andreu I. 1986. Cadmium-induced decrease of water stress resistance in bush bean plants (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Contender). I. Effects of Cd on water potential, relative water content and cell wall elasticity. *Journal of Plant Physiologist*. 125, 17-25.
- Barceló J, Poschenrieder C. 199. Plant water relations as affected by heavy metal stress: a review. *Journal of Plant Nutrition*. 13(1), 1-37.
- Barcelo J, Vázquez MD, Poschenrieder C. 1988. Cadmium induced structural and ultrastructural changes in the vascular system of bush bean stems. *Botanica Acta*. 11, 254-261.
- Bargagli R. 1998. Trace elements in terrestrial plants. An ecophysiological approach to biomonitoring and biorecovery. Springer. p 324.

- Barrs HD, Weatherley PE. 1962. Are-examination of the relative turgidity technique for estimation of water deficits in leaves. *Australian Journal of Biological Sciences*. 15, 413-428.
- Bartosz G. 23. Génération of reactive oxygen species in biological Systems. *Comments on Toxicology*.9, 5-21.
- Bataillard P, Cambier P, Picot C. 23. Short-term transformations of lead and cadmium compounds in soil after contamination. *European Journal of Soil Science*. 54, 365-376.
- Bates LS, Waldren RP, Teare ID. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*. 39(1), 25-27.
- Begg JE, Turner NC. 1976. Crop water deficit. *Edit. Adv. Agron*. 28, 161-217.
- Belaid N. 21. Evaluation des impacts de l'irrigation par les eaux usées traitées sur les plantes et les sols du périmètre irrigué d'El Hajeb-Sfax: salinisation, accumulation et phytoabsorption des éléments métalliques. Thèse de doctorat. Université de Limoges.
- Belarbi A, 218. Physiological and phytochemical study of tolerance to heavy metals Pb, Cr (III) and Cr (II) by *Atriplex halimus* L. Mostaganem University, Algeria 179-189.
- Belkhodja M, Bidai Y. 24. La réponse des graines d'*Atriplexhalimus* L. à la salinité austade de germination. *Sciences et changements planétaires/sécheresse*. 15, (4), 331-335.
- Ben Ahmed H, Zid E, El Gazzah M, Grignon C. 1996. Croissance et accumulation ionique chez *Y Atriplexhalimus* L. *Cahiers Agriculture*. 5, 367- 372.
- Ben Ghnaya A., Charles G., BenHamida J et Branchard M., 26 - Phytoremédiation : apport de la sélection in vitro pour l'obtention de Colza (*Brassicinapus* L.) tolérant aux métaux toxiques. *International journal of tropical ecology and geography*. 3(2), 69-86.
- Ben Hassine A, Bouzid S, 28. Evaluation des capacités de résistanced'*Atriplexhalimus*L.face au cadmium Assessment of *Atriplex*

halimus resistance faced with cadmium. *International journal of tropical ecology and geography*. 32, 17-2.

Ben Khaled L, Morte Gomez A, Honrubia M, Oihaba A. 23. Effet du stress salin en milieu hydroponique sur le trèfle inoculé par le Rhizobium. *Agronomie*. 23 (7), 553-56.

Ben Naceur M, Rahmoune C, Sdiri H, Meddahi ML, Selmi M. 21. Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production en grains de quelques variétés maghrébines de blé. *Sécheresse*. 12(3), 167-74.

Bennabi F. 25. Métabolisme glucidique et azote chez une halophyte (*Atriplexhalimus L.*) stressée a la salinité. Mémoire de magistère en physiologie végétale, Université Es-Senia, Oran, P 136.

Benouis S. 212. Contribution à l'étude de l'effet des métaux lourds (Cuivre) sur les

Benrebiha FZ. 1987. Contribution à l'étude de la germination de quelques espèces d'*Atriplex* locales et introduites. Thèse de Magister. Université d'Annaba, Algerie. P 119.

Berlett BS, Stadtman ER. 1997. Proteinoxidation in aging, disease and oxidative stress. *American Society for Biochemistry and Molecular Biology*. 272, 2313-2316.

Bert V, Deram A. 1999. Guide des phytotechnologies : utilisation des plantes dans la

Bert V. 2. Tolérance aux métaux lourds et accumulation chez *Arabidopsis halleri*. Thèse de Doctorat, Université des Sciences et Technologies de Lille1, France, p 174.

Berthelin J, Leyval, C. 2. Contamination des milieux par les éléments en traces. Les conséquences sur les sols et les eaux superficielles. *Comptes rendus de l'Académie d'Agriculture de France*. 86, 25-37.

Bessoule JJ, et Mench M, 22. Sols et déchets - Biomarqueurs métaboliques d'effet et d'exposition des végétaux aux métaux traces : candidats

lipidiques. Rapport Convention ADEME / Université de Bordeaux 2 n° 9975 1.

Bezzala A. 25. Essai d'introduction de l'arganier (*Arganiaspinosa* (L.) Skeels) dans la zone de M'doukel et évaluation de quelques paramètres de résistance à la sécheresse. Thèse de Magistère. Université El Hadj Lakhdar Faculté des Sciences -Batna. Algérie.p 143.

Bhardwaj R, Singhal GS, 1981. Effect of water stress on photochemical activity of bioavailability and risks of metals. 2nd Edition Springer-Verlag, New York, Berlin,

Biteur N, Aoues A, Kharoubi O, Sliman M. 211. Oxidative stress induction by lead in leaves of radish (*Raphanus sativus*) seedlings. *Notulae Scientia Biologicae*. 3 (4), 93-99.

Biteur N. 212. Essais d'utilisation du radis (*Raphanussativus*) dans la phytoremédiation (biodépollution) au niveau du sol contaminé par les métaux lourds (plomb): Etude du stress oxydatif et quelques paramètres enzymatiques. Thèse de Doctorat. Université d'Oran, Algerie.

Biteur N. 212. Essais d'utilisation du radis (*Raphanussativus*) dans la phytoremédiation (biodépollution) au niveau du sol contaminé par les métaux lourds (plomb): Etude du stress oxydatif et quelques paramètres enzymatiques. Thèse de Doctorat. Université d'Oran, Algerie

Biteur N. 212. Essais d'utilisation du radis (*Raphanussativus*) dans la phytoremédiation (biodépollution) au niveau du sol contaminé par les métaux lourds (plomb): Etude du stress oxydatif et quelques paramètres enzymatiques. Thèse de Doctorat. Université d'Oran, Algerie

Black H. 1995. Absorbing possibilities: Phytoremediation. *Environ. Health Perspect.* 13, 116-118.

- Blaylock MJ, Huang JW. 2. Phytoextraction of metals. In “Phytoremediation of toxic metals: using plants to clean up the environment”, Eds. Raskin I., Ensley B.D., New York. 53- 71.
- Blaylock MJ, Salt DE, Dushenkov S, Zakharova O, Gussman C. 1997. Enhanced
- Blum A, Gozlan G, Meyer J. 1981. The manifestation of dehydration avoidance in wheat breeding germplasm. *Crop Science*. 21, 495-499.
- Blum A, Mayer J, Golan G. 1988. The effect of grain number (sink size) on source activity and its water-relations in wheat. *Journal of Experimental Botany*. 39, 16-114.
- Blum A. 1996. Crop responses to drought and the interpretation of adaptation. *Plant Growth Regulation*. 2, 135-148.
- Blum WE. 199. Pollution des sols par métaux lourds. Sixième conférence ministérielle européenne sur l'environnement. Bruxelles.
- Bolton KA, LJ Evans. 1991. Elemental composition and speciation of some landfill
- Boon DY, Soltanpour PN. 1992. Lead, cadmium and zinc contamination of Aspen garden soils and vegetation. *Journal of Environmental Quality*. 21, 82-86.
- Borsani O, Zhu J, Verslues PE, Sunkar R, Zhu JK. 25. Endogenous siRNAs derived from a pair of natural cisantisense transcripts regulate salt tolerance in *Arabidopsis*. *Cell*. 123, 1279-1291.
- Bossokpi IPL. 22. Etude des activités biologiques de *Fagarazanthoyloides* Lam
- Bouchoukh I. 29. Eco behavior-physiological two *Chenopodiaceae* genera *Atriplex* and *Spinacia* submitted to saline stress. Memory of the magisterium in *Ecophysiology and plant biotechnology*. Mentouri University-Constantine, Algeria. 13, 38-91-92.
- Boudene C. 1993. Ces métaux lourds en question. *Pollution atmosphérique*. 35 (139), 56-62.

- Boudene, Claude. 1993. « Ces métaux lourds en question ». 1: 85.
- Boudiaf K. 26. Etude des effets anti-xanthine oxydoreductase et anti-radicalaires des extraits des graines de *Nigella sativa*. Mémoire de magister -Université de Sétif.
- Bouker H, ReguiegYssaad AH, Arbaoui M, Belarbi A. 218. Effect of interaction zinc salinity of soil on parameters (proline, soluble sugar and protein) in bean (*Vicia faba* L.) .International Journal of Biosciences. 13(3), 51-57.
- Bourrelier P et Berthelin J, 1998. Contamination des sols par les éléments traces : les risques et leur gestion. Rapport de l'Académie des sciences Ed. Lavoisier, Paris.p 42.
- Bourrelier P, Berthelin J. 28. Contamination des sols par les éléments en traces: les risques et leur gestion. Rapport n°42 à l'Académie des Sciences. Paris, France: Lavoisier Tec & Doc, p 44.
- Bouyoucos GD. 1951. A recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of the soil.Agronomy Journal. 43, 434-438.
- Bouziani El Hadj. 212. Contribution à l'étude de l'effet des métaux lourds (Plomb) sur caractéristiques biométriques et chimiques de la fève (*Vicia faba* L.).Thèse de Magistère.Université de Mostaganem.ALGERIE.
- Bouزيد Nedjimia, Youcef D.29. Cadmium accumulation in *Atriplex halimus* subsp. *Schweinfurthii* and its influence on growth, proline, root hydraulic conductivity and nutrient uptake.Flora., 24,316-324.
- Bouzoubaa Z, El Mourid M, Karrou M, El Gharous MR. 21.Manual of chemical and biochemical analysis of the plants. The Deroua Experimental Station of Institut National de Recherche Agronomique Morocco.
- Bradford MM. 1976.A rapid and sensitive method for the determination of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding.Analytical Biochemistry. 72, 248-254.
- Bravin M, Le Merrer B, Denaix L, Schneider A, Hinsinger P. 21. Copper uptake kinetics in hydroponically-grown durum wheat (*Triticum turgidum durum*

- L.) as compared with soil's ability to supply copper. *Plant and Soil*.331, 91-14.
- Bretzel, Francesca Benvenuti, Stefano Pistelli, Laura. 214. Metal contamination in urban street sediment in Pisa (Italy) can affect the production of antioxidant metabolites in *Taraxacum officinale* Weber. *Environmental Science and Pollution Research*.21(3), 2325–2333.
- Briat JF, Lebrum M. 1999.Plant responses to metal toxicity.*Plant Biology Pathology*.322, 43–54.
- Broetto F, Duarte HM, Lüttge U. 27. Responses of chlorophyll fluorescence parameters of the facultative halophyte and C<sub>3</sub>–CAM intermediate species *Mesembryanthemum crystallinum* to salinity and high irradiance stress. *Journal of Plant Physiology*. 164, 94-912.
- Brooks RR, Chambers MF, Nicks LJ, Robinson BH. 1998. « Phytomining », *Trends in Plant Science*. 3(9), 359-362.
- Brooks RR, Lee J, Reeves RD, Jaffré T. 1977. Detection of nickeliferous rocks by analysis of herbarium specimens of indicator plants.*Journal of Geochemical Exploration*. 7, 49-57.17
- Brown SL, Chaney RL, Angle JS, Baker AJM. 1995. Zinc and cadmium uptake by hyperaccumulator *Thiaspicaerulescens* grown in nutrient solution. *Soil Science Society of America Journal* .59 (1), 125-133.
- Brugnoli E, Lauteri MR. 1991. Effects of salinity on stomatal conductance, photosynthetic capacity and carbon isotope discrimination of salt tolerant (*Gossypium hirsutum* L.) and salt sensitive (*Phaseolus vulgaris* L.)C<sub>3</sub> non halophytes.*Plant Physiology*. 95, 628-635.
- Brunet J, Repellin A, Varrault G, Terryn N, Zuily-Fodil Y.28. Lead accumulation in the roots of grass pea (*Lathyrus sativus* L.): a novel plant for phytoremediation systems? *Comptes Rendus Biologies*. 331, 859-864.

- Brunet J, Varrault G, Zuily-Fodil Y, Repellin A. 29. Accumulation of lead in the roots of grasspea (*Lathyrus sativus* L.) plants triggers systemic variation in gene expression in the shoots. *Chemosphere*. 77(8),1113-112.
- Burkhead JL, Gogolin RKA, Abdel-Ghany SE, Cochu CM, Pilon M. 29. Copper homeostasis. *New Phytologist*. 182, 799-816.
- Burnie G, Forrester S, Greig D, Guest S. 23. *Botanica, encyclopédie de botanique et d'horticulture plus de 1. plantes au monde entier*.
- Burzynski M. 1987. "The Influence of lead and cadmium on the absorption and distribution of potassium, calcium, magnesium and iron in cucumber seedlings." *Acta Physiologiae Plantarum*. 9, 229-238.
- Bussler W. 1981. Physiological functions and utilization of copper. In: *Copper in soils and plants* (Loneragan JF, Robson AD & Graham RD Eds). Academic Press. 213-234.
- caractéristiques biométriques et chimiques de la fève (*Vicia faba* L.). Thèse de
- Carange J. 21. Rôle antioxydant et anti-apoptotique des brassino stéroïdes, une nouvelle stratégie de neuroprotection, Mémoire en biophysique et biologie cellulaires présenté à l'université du québec à trois-rivières. 13-22.
- Cargnelutti D, Tabaldi LA, Spanevello RM, Jucoski GO, Battisti V, Redin M, Linares CEB, Dressler VL, Flores EMM, Nicoloso FT, Morsch VM et Schetinger MRC. 26. Mercury toxicity induces oxidative stress in growing cucumber seedlings. *Chemosphere*. 65, 999-16
- Carlson CL, Ragsdale HL. 1988. Effects of simulated acid precipitation on cadmium and zinc-amended soil and soil-pine systems. *Water air soil pollution*. 42, 329-34. CASAS, Stellio. 25. Modélisation de la bioaccumulation de métaux traces (Hg, Cd, Pb, Cu et Zn) chez la moule, *mytilus galloprovincialis*, en milieu méditerranéen. Thèse de doctorat : Océanologie biologique, Environnement marin. Université du sud Toulon Var, FRANCE. p 314.

- CataldoDAj, Garand TR, Wildung RE. 1981. Cadmium distribution and chemical fate in soybean plants. *Plant Physiology*. 68, 835-839.
- CCME (Conseil canadien des ministres de l'environnement). 1997. Recommandations canadiennes pour la qualité des sols, mars 1997, Winnipeg, Canada.
- Cecchi M, Dumat C, Alric A, Felix-Faure B, Pradere P, Guiresse M. 28. Multi-metal contamination of a calcic cambisol by fallout from a lead-recycling plant. *Geoderma*. 144(1-2), 287-298.
- Cenkci S, Cigerci IH, Yildiz M, Özay C, Bozdog A, Terzi H. 21. Pb contamination reduces chlorophyll biosynthesis and genomic template stability in *Brassica rapa* L. *Environmental and Experimental Botany*. 67(3), 467-473.
- Chaib GH, Bouchelaleg A, Talbi R. 215. Etude phytochimique de quelques variétés de blé tendre (*Triticumaestivum*) et d'orge (*Hordeumvulgare*) et leurs activités biologiques. *European Scientific Journal*. 11(3), 1857 - 7881.
- Chaignon V, Hinsinger P. 22. Fe-deficiency increases Cu acquisition by wheat cropped in a Cu-contaminated vineyard soil. *New Phytologist*. 154, 121-13.
- Chaignon V. 21. Biodisponibilité du cuivre dans la rhizosphère de différentes plantes cultivées. Cas des sols viticoles contaminés par des fongicides. Thèse de doctorat, Université d'Aix- Marseille. France.
- Chakroun HK, Souissi F, Bouchardon JL, SouissiR, Moutte J, Faure O, Remon E, Abdeljaoued S (21) Transfer and accumulation of lead, zinc, cadmium and copper in plants growing in abandoned mining-district area. *Afr J Environ Sci Technol* 4:651-659
- Chaney RL, Malik M, Brown SL, Brewer EP, Angle JS, Baker AJM. 1997. Phytoremediation of soil metals. *Current Opinion in Biotechnology*. 8, 279-284.
- Chao Wang, Jie Lu, Songhe Zhang, Pei Fang, Wang Jun Hou, Jin Qian. 211. Effects of Pb stress on nutrient uptake and secondary metabolism in

submerged macrophyte *Vallisneria spiralis*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 74(5), 1297-133.

Chaoui A, El Ferjani E. 24. Impact of cadmium and copper excess on cell wall peroxidases in Pea stems. *Pakistan Journal of Biological Sciences*.7, 92-94. Chapman HD. 1965. *Methods of soil analysis*.Part 2.Chemical and microbiological properties. Ed. C.A. Black, Amer, Soc..ofAgron. Inc. Pub. Agron.Series. 9, 891-91. Madison, Wisconsin, USA.

Chardonens AN, Koevoets PLM, VanZanten A, Schat H, Verkleij JAC. 1999. Properties of enhanced tonoplast zinc transport in naturallyselected zinc tolerant *Silene*

Chérifi, K., Anagri, A., Boufous, E. El Mousadik A. 217. Effet du Chlorure de sodium (NaCl) sur la croissance de six espèces d'Acacia. *Am J Innov Res Appl Sci* 4(4): 15-113

chloroplasts during greening of etiolated barley seedlings, *Plant and Cell Physiology*. 22(2), 155-162.

dépollution et la réhabilitation des sites contaminés par les métaux lourds, France,

EEA, 27. European Environment Agency (EEA). 27. Progress in the management of contaminated sites (CSI 15)

Environnement et Développement alternatif.

Farissi, M., Faissal, A., Abdelaziz, B., Cherki, G. 214. La symbiose Légumineuses-rhizobia sous conditions de salinité : Aspect Agro-physiologique et biochimique de la tolérance. *Int J Innov SciRes* 11(1), 97-99

GabrijelOndrasek. 213. The Responses of Salt-Affected Plants to Cadmium in: *Salt Stress in Plants* Parvaiz Editors Ahmad M.M. Azooz M.N.V. Prasad ISBN 978-1-4614-617-4 ISBN 978-1-4614-618-1 (eBook) DOI 1.17/978-1-4614-618-1

Ghnaya, T., Nouairi, I., Slama, I., Messedi, D., Grignon, C., Abdelly, C., Ghorbel,

MH. 25. Cadmium effects on growth and mineral nutrition of two halophytes: *Sesuviumportulacastrum* and *Mesembryanthemum crystallinum*. *J Plant Physiol* 162, 1133–114.

Heidelberg, p 867.

<http://www2.ademe.fr/servlet/KB ase Show ? Sort = 1 & cid=96& m=3 &catid=>

industrielles. *Biofutur*. 169, 3-33.

Lachhab, I., Louahlia, S., Laamarti, M., Hammani, Kh. 213. Effet d'un stress salin sur la germination et l'activité enzymatique chez deux génotypes de *Medicago sativa*. *Inter J Innov Appl Stud* 3(2), 512

leachates with particular reference to cadmium. *Water, air, and soil pollution*.6,43-53.

magistère.Université de Mostaganem, Algerie.

McBride M, Sauve S, Hendershot W (1997) Solubility control of Cu, Zn, Cd and Pb in contaminated soils. *Eur J Soil Sci* 48:337–346

Meyers DER, Auchterlonie GJ, Webb RI, Wood B (28) Uptake and localisation of lead in the root system of *Brassica juncea*. *Environmental Pollution* 153: 323-332

Ozyigit, Il., Yalcin, B., Turan, S., Saracoglu, IA., Karadeniz, S., Yalcin, IE., Demir, G. 218. Investigation of heavy metal level and mineral nutrient status in widely used medicinal plants' leaves in Turkey: insights into health implications. *Biol Trace Elem Res* 182(2), 387– 46.<https://doi.org/1.17/s1211-17-17-7>

Rezania, S., Ponraj, M., Talaiekhosani, A., Mohamad, S.E., Md Din, M.F., Taib, S.M., Sabbagh, F., Sairan, F.M. 215. Perspectives of phytoremediation using water hyacinth for removal of heavy metals, organic and inorganic pollutants in wastewater. *J Environ Manag* 163, 125-133.

Valentina, K., Kirill, V., Vladimir, K. 21. Plants Under Heavy Metal Stress in Saline Environments. Sherameti I. and Varma A. (eds.), *Soil Heavy Metals, Soil Biology* 19, DOI 1.17/978-3-642-2436-8\_8



# **ANNEXE**

**VI.1. Annexe1:**

<b>Type de salinité</b>	<b>Facteurs responsables à la salinité</b>
<b>Salinité primaire</b>	<p>L'altération des roches</p> <p>Montée capillaire à partir d'eaux souterraines salines peu profondes</p> <p>Intrusion d'eau de mer le long de la côte</p> <p>Du sable chargé de sel soufflé par les vents de mer</p>
<b>Salinité secondaire</b>	<p>Introduction de l'irrigation sans système de drainage adéquat</p> <p>L'activité industrielle</p> <p>L'utilisation d'engrais</p> <p>Enlèvement de la couverture végétale naturelle</p> <p>Inondation par les eaux riches en sel</p> <p>L'utilisation d'eaux souterraines de mauvaise qualité pour l'irrigation</p>