

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département de biologie

Laboratoire de biodiversité et conservation des eaux et des sols-
Université de Mostaganem

Mémoire de fin d'études

Présenté par

CHERIEF Fatiha

BOUBERHAN Khadidja

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER EN BIOLOGIE

Spécialité: Biodiversité et environnement

Thème

**Impact du plomb sur les paramètres morpho-
physiologiques de l'*Atriplex canescens* (Pursh) Nutt**

Devant le Jury

Président	Mme. MOSTARI A	Université de Mostaganem
Examineur	M. TAHRI. M	Université de Mostaganem
Encadreur	M. REGUIEG YASSAAD H.A	Université de Mostaganem
Co-encadreur	Mme. HAMAD. H	Université de Mostaganem

Année universitaire : 2019/2020

Remerciements

*Tout d'abord nous tenons à remercier DIEU tout puissant nous avoir
donnés le courage et la volonté de terminer ce travail.*

En tout premier lieu nous tenons à remercier notre encadreur

Monsieur REGUIE YASSAAD H A, nos Co- encadreur madame HAMAD. H

*pour le temps et l'attention qu'ils ont bien voulu au bon
déroulement de ce travail.*

Nous remercions Mme. MOSTARI .A pour nous avoir

l'honorés en présidant notre jury.

Que soient remerciés M. TAHRI. M pour l'honneur

qu'elles nous ont fait en acceptant d'examiner et d'évaluer notre travail.

*U n grand merci à tous nos professeurs de puis année Jusqu'à cette dernière année, et
ainsi tous ceux qui ont participé de près ou de loin a la réalisation de ce travail.*

DEDICACES

*Avant tout je remercie mon DIEU le tout puissant qui
m'a donné la ténacité pour achever ce travail.*

Je dédie ce modeste travail :

À mes chers parents.

Mes sœurs et mes frères

À mon binôme Khadidja, mes amis (es) et à tous

Ceux qui me sont chers et proches.

Merci d'être toujours là pour moi.

Fatiha

DEDICACES

Au nom d'Allah le plus grand merci lui revient de nous

avoir guidés vers le droit

Chemin de m'avoir aidés tout au long de mes années d'étude.

*Tout d'abord je tiens à remercier mes très chers parents «**HADDJ et AICHA** », qui ont le droit de recevoir mes chaleureux remerciements pour le courage et le sacrifice qu'ils ont consentes pendant la durée de mes études en leurs souhaitant une longue vie pleine de joie et de santé.*

À tous mes sœurs et mon seul frère :

FATIMA, KARIMA, SOHILA, SAMIRA, NAIMA, SARA et IBRAHIM.

A mes chères copines :

ASMA, SOUMIA

A mon seul ami :

MOHAMED

À mon binôme Fatiha, tous mes amis (es) et

collèguessans exception.

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin

pour que projet soit possible, je vous dis merci.

Khadidja

RÉSUMÉ

Le problème des sols contaminés par les métaux lourds comme le plomb, est aujourd'hui est très préoccupant pour les pays émergents. L'*Atriplex canescens* est une plante halophyte de la famille *Chénopodiacées*, bien adapté à des conditions environnementales extrêmes et présentes des propriétés accumulatrices de métaux lourds. Le présent travail consiste à faire une synthèse sur l'effet de plomb à trois doses (0, 5000, et 10 000 ppm) sur les paramètres morpho-physiologiques l'*Atriplex canescens*. Les résultats obtenus ont montré que l'effet du plomb varie d'un paramètre à l'autre et les analyses morphologiques montrent une réduction de la surface foliaire de l'*Atriplex canescens* et une inhibition de la croissance de l'*Atriplex canescens* chez les plantes stressées dont on a enregistré une diminution de la longueur des tiges et racines, ainsi du poids de la matière fraîche et sèche de différents organes des plantes traitées par le plomb par rapport aux témoins.

Mots clés : l'*Atriplex canescens* (Pursh) Nutt, plomb, paramètres morphophysiologiques phytoremédiation.

SUMMARY

The problème of soils contaminated by heavy metals such as lead is today is of great concern for emerging countries *Atriplex canescens* is a halophytic plant of the chenopodiaceae family, well adapted to conditions environmental extremes and have heavy metal accumulating properties. The present work consists of synthesizing the effect of lead at the doses 0,5000 and 10,000 on the morphophysiological parameters of *Atriplex canescens*. The results obtained showed that the effect of lead varies from one parameter to another and analyzes morphology show a reduction in the leaf area of *Atriplex canescens* and a inhibition of the growth of *Atriplex canescens* in stressed plants with recorded a decrease in the length of stems and roots, as well the weight of the material fresh of plants treated with lead compared to witnesses. key words: *Atriplex canescens* Pursh Nutt, lead morphophysiological parameters phytoremediation.

Mots clés : *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt, lead, morphophysiological parameters, phytoremediation.

ملخص

مشكلة التربة الملوثة بالمعادن الثقيلة مثل الرصاص هي مصدر قلق كبير للبلدان الناشئة ، نبات القطف هو نبات ملحي من عائلة *Chenopodiaceae*، يتكيف جيدا مع الظروف البيئية الصعبة ولها خصائص تراكم المعادن الثقيلة. العمل الحالي عبارة عن توليفة حول تأثير الرصاص بثلاث جرعات (0، 5000، 10000 جزء في المليون) على الاعدادات المورفو-فيزيولوجية لنبات القطف، النتائج المتحصل عليها اظهرت ان تأثير الرصاص يختلف من عامل الى اخر والتحليلات المورفولوجية تظهر انخفاض في مساحة الورقة لدى النباتات المعالجة بالرصاص ، وتنشيط نمو نبات القطف المجهد، حيث سجلنا انخفاض في طول السيقان و الجذور و كذلك في وزن المادة الطازجة و الجافة لمختلف أعضاء النباتات المعالجة بالرصاص مقارنة بالنبتة الشاهدة.

الكلمات المفتاحية : نبات القطف ، الرصاص ، الاعدادات المورفو-فيزيولوجية، phytoremediation.

LISTE D'ABRÉVIATIONS

ALAD :	γ - Amino Levulinate Déshydratase	P:	Phosphore
Cd :	Cadmium	Pb :	Plomb
Cu :	Cuivre	Ph :	Potentiel d'hydrogène
CO 2 :	Dioxyde de carbone	ppm :	Partie par million
Cr :	Chrome	Zn :	Zinc
EDTA :	Acide Ethylène Diamine Tétra acétique	P:	Phosphore
EDDS:	Ethylenediamine-N,N'-disuccinic acid		
Eh :	Potentiel d'oxydo-réduction.		
ETM :	Elément trace métallique		
ERO :	Espèces Réactives de l'Oxygène.		
Fe :	Fer		
Fig :	Figure		
Hg :	Mercure		
Kg :	Kilogramme		
Km :	Kilomètre		
MS :	Masse sèche		
NaCl :	Chlorure de sodium		
Ni :	Nickel		

LISTE DES FIGURES

Figure1 : Origine des métaux lourds dans le sol	4
Figure 2 : Processus de phytoextraction	15
Figure 3 : Processus de la phytodégradation des contaminants au niveau du sol.....	17
Figure 4 : Technique de phytovolatilisation	17
Figure 5 : Plante <i>Atriplex canescens</i>	20
Figure 6 : <i>Atriplex canescens</i>	21
Figure 7 : Partie aérienne ; B : Fruits de l' <i>Atriplex canescens</i> ; C : Feuilles de l' <i>Atriplex canescens</i> ; D : Arbuste d' <i>Atriplex canescens</i>	22

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Métaux lourds dans la classification périodique	3
Tableau 0 2 : Principales propriétés physico-chimiques du plomb.....	6
Tableau 03: Les valeurs de la surface foliaire (cm ²) des feuilles de <i>l'Atriplex canescens</i> (Pursh) Nutt enregistrées sous l'effet de plomb.....	25
Tableau 04: Les valeurs de la longueur des tiges et racines de <i>l'Atriplex canescens</i> (Pursh) Nutt enregistrées sous l'effet de plomb.....	26
Tableau 05 : les valeurs du poids de la matière fraîche aérienne et racinaire de <i>l'Atriplex canescens</i> (Pursh) Nutt sous l'effet de plomb.....	27
Tableau 06 : Les valeurs de la matière sèche aérienne et racinaire de <i>l'Atriplex canescens</i> (Pursh) Nutt sous l'effet de plomb.....	28
Tableau 07 : teneur en eau relative chez <i>l'Atriplex canescens</i> (Pursh) Nutt sous l'effet de plomb	28
Tableau 08: teneur en chlorophylle a et b et total sous l'effet de plomb	29

TABLE DES MATIÈRES

Remerciement	
Résumé	
Abstract	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste d'abréviations	
Introduction	1
PREMIERE PARTIE : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	
Chapitre 01 : les métaux lourds	
I.1. Généralités sur les métaux lourds	3
I.2. Définition des métaux lourds	3
I.3. Origine des métaux présents dans le sol	4
I.4. Généralité sur le plomb	5
I.4. 1. Propriétés physico-chimiques du plomb.....	5
I.4.2. Le plomb dans le sol	6
I.4.2.1. Mobilité du plomb	7
I.4.2.2. Influence des paramètres physico-chimiques sur la spéciation du plomb.....	7
I.4.3. Le plomb dans la plante.....	9
I.4.3.1 Notion de phytodisponibilité.....	9
I.4.3.2 Mécanismes d'absorption	9
I.4.3.3. Translocation du plomb des racines vers les parties aériennes.....	11
I. 4.3.5 Impact du plomb sur les végétaux.....	12
I.4.3.5.1 Effets sur la germination et la croissance	12
I. 4.3.5.2 Effet sur la Photosynthèse	12
Chapitre 02 : La Phytoremédiation	
II. . 1. Généralité sur la phytoremédiation.....	14
II. .2. Définition de la phytoremédiation.....	14
II. .3. Techniques de la phytoremédiatio.....	14

II.	.3. 1. Phytoextraction.....	14
II.	.3. 2. Rhizofiltration.....	16
II.	.3. 3. Phytostabilisation.....	16
II.	.3. 4. Phytodégradation	16
II.	.3. 5. Phytovolatilisation.....	17
II.	.4. Avantages et limites de la phytoremédiation.....	18
II.	.4.1. Avantages	18
II.	.4.2. Limites.....	18

Chapitre 3 : *Atriplex canescens*

III.1.	Généralité sur l' <i>Atriplex</i>	19
III.2.	<i>Atriplex canescens</i>	20
III.1.2.	Définition	20
III.4.1.	Origine d' <i>Atriplex canescens</i>	20
III.4.2.	Taxonomie de l' <i>Atriplex canescens</i>	21
III. 5.2.	Morphologie d' <i>Atriplex canescens</i>	21
III.3.	Exigences édapho-climatiques	22
III.4.	Potentiel écologique et économique de l' <i>Atriplex</i>	22
III.4.1	Intérêt fourrager	22
III.4.2	Mise en valeur des sols pauvres	23
III.4.3	Mises en valeur des sols salés	23

DEUXIEME PARTIE : Synthèse sur l'effet de plomb sur les paramètres morpho-physiologiques de l'*Atriplex canescens*

I.1.	Objectif.....	25
I.2.	Effet de plomb sur les paramètres morpho-physiologiques d' <i>Atriplex canescens</i>	25
I.2.1.	Effet de plomb sur la surface foliaire des plantes d' <i>Atriplex canescens</i>	24
I.2.2.	Effet de plomb sur la longueur des tiges et racines chez l' <i>Atriplex canescens</i> (Pursh) Nutt	25
I.2.3.	Effet de plomb sur le poids de la matière fraîche aérienne et racinaire de l' <i>Atriplex canescens</i> (Pursh) Nutt.....	26
I.2.4.	Effet de plomb sur le poids de la matière sèche aérienne et racinaire de l' <i>Atriplex canescens</i> (Pursh) Nutt.....	27

I.2.5. Effet de plomb sur la teneur relative en eau chez l' <i>Atriplex canescens</i> (Pursh) Nutt.....	28
I.2.6. Effet de plomb sur la teneur en chlorophylle chez l' <i>Atriplex canescens</i> (Pursh) Nutt.....	29
II. Discussion	30
II.1. Effet de plomb sur la surface foliaire chez l' <i>Atriplex canescens</i>	30
II.2. Effet de plomb la longueur des tiges et des racines chez l' <i>Atriplex canescens</i>	30
II.3. Effet du plomb sur la matière sèche et fraîche des parties aériennes et racinaires chez <i>l'Atriplex canescens</i>	31
II.4. Effet de plomb sur la teneur relative en eau (RWC) chez l' <i>Atriplex canescens</i>	31
II.5. Effet de plomb sur chlorophylle a, b et totale	31
Conclusion.	33
Références bibliographiques	
Annexes	

Le développement industriel a donné de l'ampleur au terme de pollution par la contamination de l'environnement par différents métaux lourds. L'agriculture est touchée par la pollution plombique, du fait que les axes routiers longent les champs des cultures affectant ainsi l'homme directement au travers des ressources agricoles. Devant l'importance des dégâts, il est accordé un grand intérêt à l'effet du plomb sur la biomasse et le métabolisme cellulaire des végétaux (HAMMOUM, 2003). Cet élément chimique est considéré comme l'un des métaux les plus toxiques, et qui n'a aucun avantage sur le plan biologique, ainsi qu'il est nocif même à des faibles doses. De plus, il n'est pas biodégradable, il persiste et s'accumule dans les sols (Seregin et Ivanov, 2001). Quand il a réussi de pénétrer dans la plante, il peut affecter de nombreux processus physiologiques de celle-ci (cecchi, 2008) et provoquer la mort cellulaire à plus fortes doses (Seregin et et Ivanov, 2001).

La solution pour pallier à ce problème est de traiter les sols contaminés afin d'en retirer les éléments métalliques ou, au moins, de ramener leur concentration à des niveaux acceptables pour la viabilité de l'écosystème. Une des ces méthodes de traitement est la phytoremédiation est considérée comme une nouvelle approche biologique permettant de dépolluer les sols contaminés par l'utilisation de plantes. Cette technique s'avère être prometteuse car elle est peu coûteuse et plus respectueuse de l'environnement contrairement à des méthodes classiques, physico-chimiques (Chaney *et al*, 1997, Kupper *et al*, 1999). Parmi les différents aspects possibles de cette méthode, figure la phytoextraction basée sur l'absorption et l'accumulation du polluant dans les parties aériennes. Pour être efficace, il est nécessaire de disposer de plantes présentant un potentiel adaptatif conséquent et une biomasse élevée (Mulas, 2004).

L'Atriplex canescens PurchNutt. Espèce introduite (Le Houérou, 1992, 2000) semble particulièrement intéressante en raison de sa plus grande résistance au froid. Cette espèce originaire d'Amérique du Nord (Mulas, 2004) est une plante fourragère exceptionnelle grâce à sa valeur nutritive, sa bonne adaptabilité et son feuillage persistant (Kitchen et McArthur, 2001). De plus c'est un important arbuste pour la réhabilitation des sols dégradés et s'adapte facilement hors de son habitat naturel (Sanderson et Mc Arthur, 2004).

A la lumière de ces données bibliographiques, notre synthèse a été menée afin d'étudier divers aspects des réponses morpho-physiologique de l'*Atriplex canescens* (Pursh) Nutt soumises à un stress métallique à trois doses de plomb. Notre mémoire est structuré comme suit :

La 1 ère partie une synthèse bibliographique qui comporte trois chapitres :

Le 1 er chapitre présente les métaux lourds (plomb).

Le 2 ème chapitre traite la phytoremédiation et ces principales méthodes.

Le 3 ème chapitre est consacré sur l'espèce de l'*Atriplex canescens* (Pursh) Nutt

La 2 ème partie c'est une synthèse sur l'effet de plomb sur l'*Atriplex canescens* (Pursh) Nutt

Et enfin une conclusion et perspectives.

I.1. Généralités sur les métaux lourds

Les éléments métalliques sont, sous différentes formes, toujours présents au sein de l'environnement. A l'état de traces, ils sont nécessaires voire indispensables aux êtres vivants (Baize, 1997). A concentration élevée, en revanche, ils présentent une toxicité plus ou moins forte (Kabata-Pendias, 2001). La présence de métaux lourds dans l'environnement résulte de causes naturelles et des activités humaines. Elle pose un problème particulier, car les métaux lourds s'accumulent et ils ne sont pas biodégradables dans l'environnement. Ces métaux lourds ne présentent pas tous les mêmes risques en raison de leurs effets sur les organismes, leurs propriétés chimiques, physico-chimiques et biologiques. Leur toxicité est très variable et leur impact sur l'environnement très différent (Kabata-Pendias, 2001).

I.2. Définition des métaux lourds

Les métaux lourds sont définis comme étant des éléments chimiques toxiques ayant une densité supérieure à 5g/cm^3 (Elmsley, 2001). Sous cette appellation figurent des éléments qui, pour certains, sont effectivement des métaux tels que Ni, Cu, Zn, Pb, Cd, Hg, Al... mais aussi des métalloïdes tels que As et Se. Ceux-ci sont présents le plus souvent dans l'environnement sous forme de traces. Les plus toxiques d'entre eux sont le cadmium, l'arsenic, le plomb et le mercure. Ces éléments sont présents naturellement dans la croûte terrestre et dans tout organisme vivant, à des concentrations variables suivant les milieux et les organismes. (Koller, 2004). Voir tableau 01.

Tableau 1 : Métaux lourds dans la classification périodique (Chiron *et al.*, 2001).

Elément																	
H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	
			Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	
										Métaux lourds							
										Non-métaux et métalloïdes associés							

I.3. Origine des métaux présents dans le sol

Le problème principal avec les métaux lourds comme le plomb, le cadmium, le cuivre et le mercure est qu'ils ne peuvent pas être biodégradés, et donc persistent pendant de longues périodes dans des sols. Leur présence dans les sols peut être naturelle ou anthropogénique (Robert et Juste, 1999).

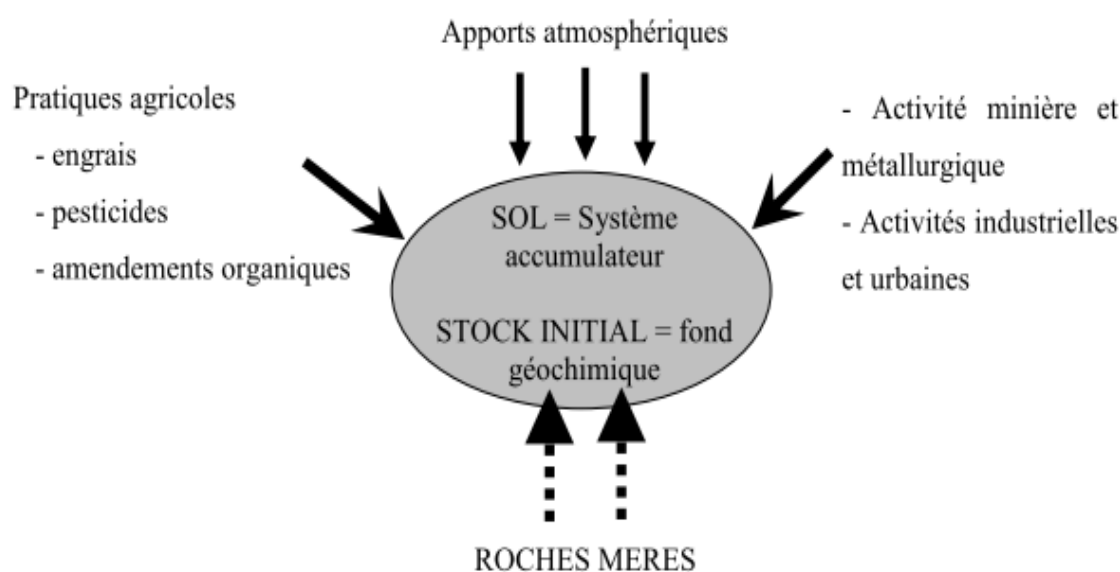


Fig. 1: Origine des métaux lourds dans le sol (Robert et Juste, 1999)

➤ Sources naturelles

Les métaux lourds sont présents naturellement dans les roches, ils sont libérés lors de l'altération de celles-ci pour constituer le fond géochimique (Bourrelier et Berthelin in Huynh, 2009). La concentration naturelle de ces métaux lourds dans les sols varie selon la nature de la roche, sa localisation et son âge. Ce fond pédo-géochimique local résulte des phénomènes naturels géologiques. (Baize, 2000).

➤ Sources anthropiques

Les métaux provenant d'apports anthropiques sont présents sous des formes chimiques assez réactives et entraînent de ce fait des risques très supérieurs aux métaux d'origine naturelle qui sont le plus souvent immobilisés sous des formes relativement inertes. Parmi les activités qui contribuent à l'apport des concentrations dans l'environnement on

a: activités pétrochimiques, utilisation de combustibles, transport, incinération de déchets, produits (interrupteurs électriques, amalgames dentaires, éclairages fluorescents), déchets urbains (eaux usées, boues d'épuration, ordures ménagères), agricoles, activités minières, déchets industriels (Monna, 2008).

I.4. Généralité sur le plomb

Le plomb est présent naturellement dans l'environnement. Cependant, la plupart des concentrations en plomb que l'on trouve dans l'environnement sont le résultat des activités humaines. Il n'y a pas seulement l'essence au plomb qui augmente les concentrations dans l'environnement, d'autres activités telles que les procédés industriels et la combustion des déchets solides, y contribuent aussi (Stoekli *et al.*, 1998). Le plomb est un élément réputé peu mobile par rapport à d'autres métaux en traces tel que le cadmium. Son cycle biogéochimique dépend des caractéristiques physico-chimiques du sol. Le plomb tend à former des complexes particulièrement stables. En conséquence, il va être stocké en grande partie dans le sol. Toutefois, une fraction mobile peut être absorbée par les organismes vivants (micro-et méso-organismes du sol, végétaux...) et rentrer ainsi dans la chaîne alimentaire (Bourrelier et Berthelin, 1998).

I.4.1. Propriétés physico-chimiques du plomb

Le plomb, du latin *plombum*, est un métal mou et gris, sans goût ni odeur caractéristique. Il appartient au groupe IVb de la classification périodique des éléments. Ses principales propriétés physico-chimiques sont présentées dans le tableau 2 (Sposito *et al.*, 1982). Sa configuration électronique est $[Xe] 4f^{14} 5d^{10} 6s^2 6p^2$ avec deux électrons non appariés sur la dernière couche. Cette configuration électronique autorise les degrés d'oxydation (+2) et (+4), en plus de la forme métal (0).

Tableau 2 : Principales propriétés physico-chimiques du plomb (Sposito *et al*, 1982).

Symbole	Pb
Numéro atomique	82
Masse atomique	207.2 g.M -1
Point de fusion	327°C
Point d'ébullition	1740°C
Densité	11.35

I.4.2. Le plomb dans le sol

Le plomb retrouvé dans l'environnement provient à la fois de sources naturelles et anthropiques. Le métal est présent dans le sol, mais également dans tous les autres compartiments de l'environnement: eau, air et même les êtres vivants (Nriagu, 1978; Baize, 2002).

❖ Sources naturelles

Le plomb est naturellement présent en moyenne à 0,002% dans la croûte terrestre, généralement sous forme peu soluble. Des dérivés inorganiques sont présents dans les eaux, les sédiments, les sols, l'atmosphère et éventuellement en microtraces chez les organismes vivants, (Nriagu, 1978; Baize, 2002). A l'état naturel, le plomb (Pb) se retrouve dans l'environnement sous forme de galène (sulfure de plomb), de cérusite (carbonate de plomb) et d'anglésite (sulfate de plomb) dont la forme la plus abondante est la galène, la cérusite et l'anglésite apparaissent lors de l'oxydation de la galène (Brunet, 2008).

Dans l'aire, les émissions de plomb provenant de poussières volcaniques véhiculées par le vent sont reconnues d'importance mineure, la majorité du plomb contenue dans l'aire ambiante provient de la combustion de l'essence plombée (Pichard, 2003).

❖ Sources anthropiques

A ce jour, les principales sources de contaminations en Pb sont les rejets anthropiques. Ils proviennent principalement des industries qui extraient et purifient le Pb naturel et qui recyclent les composants contenant du Pb comme les batteries et leurs retombées atmosphériques contaminent les sols. A ceci s'ajoute les déchets industriels et détérioration des peintures extérieures à base de Pb. Des rejets provenant des industriels sidérurgiques ainsi que les réseaux de canalisations de distribution d'eau anciennes, contenant du Pb, contaminent les eaux (Pichard, 2003).

I.4.2.1. Mobilité du plomb

La mobilité du plomb est principalement contrôlée par spéciation en phase aqueuse et par des processus d'adsorption/désorption ainsi que de dissolution/précipitation. Le rôle de certains paramètres tels que le pH, le potentiel redox, la composition minéralogique du sol ou du sédiment et la présence de ligands ou de colloïdes dans la phase va être déterminant. Le plomb étant en général considéré comme un élément peu mobile dans les milieux naturels, il a donc tendance à s'accumuler dans les horizons superficiels des sols (Juste, 1988).

I.4.2.2. Influence des paramètres physico-chimiques sur la spéciation du plomb

➤ Influence du pH

C'est le facteur qui influence le plus la mobilité et la biodisponibilité du plomb (Swaine, 1986). Les risques de mobilité sont plus grands dans les milieux acides, alors que la solubilité diminue avec l'élévation du pH. A pH 5, le plomb semble majoritairement adsorbé aux oxydes et aux matières organiques (Alloway, 1995).

➤ **Influence du potentiel redox**

Le potentiel d'oxydoréduction (Eh) exprime le flux d'électrons des agents réducteurs vers les agents oxydants. Il est contrôlé par l'activité des électrons en solution (Sposito, 1983). Bien que le plomb garde globalement le même état d'oxydation dans les milieux naturels, sa mobilité va néanmoins être affectée par des variations de potentiels redox du milieu. Ces variations sont susceptibles de modifier la chimie de la phase aqueuse, pouvant entraîner des phénomènes de précipitation de minéraux contenant du plomb. A l'inverse, ces variations de potentiel redox peuvent entraîner la dissolution de phases porteuses de plomb. Chuan *et al* (1996) observent une augmentation de la solubilité du plomb et du zinc lorsque le potentiel redox diminue.

➤ **Influence de la composition minéralogique du sol**

Dans la mesure où la mobilité du plomb est majoritairement contrôlée par des phénomènes d'adsorption ou de précipitation/dissolution, elle va être dépendante de la composition minéralogique du sol, notamment de la teneur en phases absorbantes (matière organique, argile, oxydes...). La teneur en carbonates va également affecter la mobilité du plomb. En effet, dans les sols riches en carbonates, le plomb va pouvoir être piégé par simple adsorption à la surface de la calcite ou par précipitation minérale due aux pH élevés de ce type de sol. Veeresh *et al* (2003) ont montré que les caractéristiques minéralogiques et chimiques des sols neutres et alcalins sont plutôt favorables à un piégeage du plomb par précipitation ou Co-précipitation minérale (carbonates, oxydes..) à l'inverse dans les sols acides, le plomb semble lié à la fraction échangeable et a donc une plus grande mobilité potentielle.

➤ **Influence des ligands présents dans la phase aqueuse**

La teneur et le type de ligands contenus dans la phase aqueuse sont susceptibles de complexer le plomb, augmentant sa mobilité. Ainsi, la présence de matière organique dissoute va avoir tendance à favoriser la migration du plomb vers les horizons profonds du sol, par la formation de complexes organo-minéraux, qui entraînent une limitation de l'adsorption du plomb sur les autres constituants du sol (Sauvé *et al.*, 1998 ; Sterckeman *et al.*, 2000).

➤ **Influence de la fraction colloïdale**

En milieu naturel, le plomb est fréquemment associé à la fraction colloïdale, qui peut être organique (composés humiques) ou inorganique (oxyhydroxydes métalliques). Cette fraction aura tendance à favoriser la mobilité du plomb et à modifier sa biodisponibilité (Sposito, 1983).

➤ **Influence des microorganismes sur la spéciation du plomb**

Les microorganismes peuvent limiter la mobilité des métaux, par des phénomènes d'adsorption à l'interface solide/liquide, les bactéries jouant un rôle de transport des métaux dans la phase liquide. Elles peuvent aussi augmenter le lessivage et la dissolution des métaux en sécrétant des molécules organiques, qui entraînent une acidification du sol (Ernet, 1996). Le champignon *Aspergillus niger* est capable de solubiliser la protophyte et de la transformer en oxalate de plomb hydraté (Sayer *et al*, 1999).

I.4.3. Le plomb dans la plante

Les plantes peuvent absorber du plomb à partir des racines, mais également à partir des organes aériens, ou bien par l'intermédiaire des deux.

I.4.3.1. Notion de phytodisponibilité

La notion de phytodisponibilité découle de la biodisponibilité, qui peut être définie comme « l'aptitude d'un élément à être transféré d'un compartiment du sol vers un organisme vivant (bactérie, végétal, animal, homme) » (Baize, 1997). Lorsque l'organisme vivant est une plante, on parle de phytodisponibilité (Tremel-Schaub et Feix, 2005). Elle est également largement dépendante des propriétés du sol, de l'espèce végétale considérée et de l'élément en question.

I.4.3.2. Mécanismes d'absorption

Les plantes peuvent absorber du plomb à partir des racines, mais également à partir des organes aériens, ou bien par l'intermédiaire des deux. Les quantités de métal absorbées par les racines dépendent de la concentration et de la spéciation du métal dans la solution du sol, mais également de ses capacités de migration du sol vers la surface des

racines. Ensuite, la quantité de plomb présente dans les divers organes d'une plante dépend du transport de l'extérieur des racines vers l'intérieur, puis de sa translocation des racines vers les feuilles (Patra *et al.*, 2004).

❖ Absorption racinaire

Dans le sol, l'absorption racinaire correspond au prélèvement par la plante des éléments minéraux du milieu extérieur et elle peut se faire de plusieurs manières. Soit la pénétration des éléments dans les racines se fait grâce à un transport actif interne par le symplaste (cytoplasmes des cellules reliés entre eux par les plasmodesmes). Après avoir traversé la paroi cellulaire, les ions métalliques atteignent la surface de la membrane plasmique, puis pénètrent dans le symplaste. Ensuite, ces ions métalliques peuvent passer d'une cellule à l'autre en empruntant les plasmodesmes, qui relient les cellules. C'est la voie dite symplastique. Ce transport peut aussi se faire par voie passive ou apoplastique, c'est-à-dire par un transport dans les espaces intercellulaires (ou Espaces Libres Apparents). Ce phénomène s'arrête le plus souvent au niveau de l'endoderme, du fait de la présence de cadres de subérines, ou bandes de Caspary, qui bloquent le passage des molécules et des ions. A ce moment là, l'eau et les molécules sont obligées de traverser les membranes plasmiques des cellules de l'endoderme, afin de pouvoir parvenir dans le cylindre central contenant les vaisseaux du xylème. Après avoir traversé la membrane plasmique de la face interne de l'endoderme, les ions peuvent à nouveau reprendre le chemin apoplastique. Il reste néanmoins possible qu'une faible partie de l'absorption des ions se fasse par l'apoplasme complètement. En effet, certaines cellules de l'endoderme, nommées cellules de transfert ne sont pas subérifiées. (Gobat *et al.*, 1998).

❖ Absorption foliaire

Bien qu'elle ait été peu étudiée par rapport à l'absorption racinaire, l'assimilation du plomb par les feuilles peut représenter une part importante dans le taux de contamination de la plante. Le plomb peut être apporté sur les feuilles par des retombées atmosphériques, mais également dans les champs par des apports en engrais et pesticides (plomb sous forme d'impuretés). La majorité de ce plomb est lessivée, mais une partie va s'adsorber aux lipides épicuticulaires et être absorbée par les feuilles (Prasad et Hagemeyer, 1999; Hovmand *et al.*; 2009). La capacité des plantes à absorber le plomb disponible via leurs feuilles dépend à la fois de l'âge de celles-ci, mais également de leurs morphologies. dans le cas de « légume-

feuilles », comme l'épinard, ou de céréales, comme le blé, exposés à de fortes retombées atmosphériques, la quantité de métal absorbée par les parties aériennes peut atteindre jusqu'à 95 % de la quantité totale absorbée (Dalenberg et Van Driel, 1990).

I.4.3.3. Translocation du plomb des racines vers les parties aériennes

Après l'absorption par les racines, la translocation correspond au transfert des éléments traces métalliques vers les parties aériennes. Elle peut varier considérablement en fonction du métal, mais également de l'espèce végétale.

Pour la plupart des espèces, la majorité du plomb absorbé par les plantes réside dans les racines, et seulement une faible proportion est transloquée vers les parties aériennes. Ce transport limité des racines vers les feuilles peut être expliqué par la barrière formée par l'endoderme des racines. Les bandes de Caspary peuvent en effet être un facteur majeur limitant le franchissement de l'endoderme jusqu'au cylindre central (Seregin *et al.*, 2004 ; Sharma et Dubey, 2005). Pour illustrer ce propos, différents auteurs ont défini un facteur de translocation, qui est calculé comme suit (Mattina *et al.*, 2003 ; Tanhan *et al.*, 2007): $[Pb] \text{ parties aériennes} / [Pb] \text{ racines}$ Yoon *et al.* (2006) .

Dans une étude des concentrations en métaux dans des plantes natives sur un site contaminé ont montré que dans 95% des cas, les concentrations en plomb dans les racines étaient beaucoup plus élevées que dans les feuilles, soulignant une faible mobilité du plomb des racines vers les parties aériennes et donc une immobilisation dans les racines. Pour Verkleij *et al.* (1990), cette restriction du transport vers les parties aériennes représente un facteur de tolérance des plantes à la présence de contaminants dans leur milieu de culture. En effet, il est important que le moins de plomb possible soit transféré vers les feuilles, car c'est un élément toxique, notamment pour l'activité photosynthétique, pour la synthèse de chlorophylle ou encore pour la synthèse d'enzymes anti-oxydantes (Kim *et al.*, 2003). Ceci n'est cependant pas vrai pour les espèces hyper-accumulatrices, qui ont la capacité de transloquer une grande quantité du plomb vers les parties aériennes (Seregin et Ivanov, 2001), et qui présentent donc des facteurs de translocation supérieurs à 1 (Baker, 1981).

I.4.3.5. Impact du plomb sur les végétaux

La toxicité du plomb dépend de sa concentration dans le milieu, de sa spéciation, des propriétés du sol, et enfin de l'espèce végétale concernée. Les plantes mettent en place diverses barrières physiques pour se protéger, quand le plomb a réussi à passer à travers ces barrières de protection, il peut affecter de nombreux processus physiologiques de la plante. (Cecchi, 2008).

I.4.3.5. 1. Effets sur la germination et la croissance

A l'échelle macroscopique, le plomb entraîne des effets néfastes sur les plantes. En premier lieu, la germination est fortement inhibée par les ions plomb (Pb^{2+}) à très faibles concentrations (Mishra *et al.*, 1998 ; Tomulescu *et al.*, 2004). De plus fortes doses conduisent à une inhibition totale de la germination chez les espèces végétales, comme l'haricot (Wierzbicka *et al.*, 1998). Le plomb réduit également fortement le développement de la plantule et des racines d'*Atriplex canescens* (Mishra et Choudhuri, 1998). Un traitement à de faibles concentration en plomb inhibe la croissance des racines et des parties aériennes de cette espèce (Makowski *et al.*, 2002 ; An, 2006). Cette inhibition est plus importante pour la racine, ce qui peut être corrélé à plus forte teneur en plomb de cette dernière. (Obroucheva *et al.*, 1998). L'accroissement de biomasse végétale est diminué par de fortes doses de plomb (Xiong *et al.*, 2006). Sur de longues durées, les traitements au plomb, même à des doses non-létales, peuvent conduire à l'apparition de nécroses au niveau des apex racinaires et des feuilles, ainsi que de chlorose foliaire, importantes lésions nécrotiques, jaunissement progressif, repliement ou dessèchement du feuillage, les bases moléculaires de ces perturbations sont encore mal connues, mais on admet généralement qu'elles résultent d'un stress oxydatif, du à la production d'espèces réactives de l'oxygène (ERO) ou « Réactive Oxygen Species » (ROS). Qui altèrent toute une série de substrats biologiques importants, et modifient les domaines fonctionnels des biomolécules pouvant conduire à la mort cellulaire (Cheng, 2003).

I.4.3.5.2. Effet sur la Photosynthèse

Chez les plantes, l'exposition au Pb conduit à une forte inhibition de la photosynthèse, du rendement photosynthétique, et à une limitation du taux d'assimilation de CO_2 . Le rendement photosynthétique, très sensible, peut chuter de plus de 50% (Bazzaz *et al.*, 1975; Poskuta *et al.*, 1987). Cette inhibition s'explique par la diminution des teneurs en chlorophylle

et en caroténoïdes généralement constatée (Chen *et al.*, 2007 ; Gopal *et al.*, 2008). La chlorophylle b semble plus sensible que la chlorophylle a (Wozny *etal.*, 1995 ; Vodnik *et al.*, 1999). Toutefois, ces effets varient en fonction des espèces végétales. Les mécanismes de réduction de la teneur pigmentaire sont, en partie, élucidés. Le plomb induit l'activité chlorophyllase dans les feuilles (Drazkiewicz, 1994), mais le mécanisme principal semble être l'inactivation de la synthèse de ces pigments. Le plomb interagit à ce niveau de deux façons :

- D'une façon directe**, en se substituant aux ions divalents liés aux métallo enzymes. C'est notamment le cas avec l'aminolevulinate déshydratase ou ALAD qui est à la bases de la synthèse des chlorophylles et dont l'ion zinc (Zn^{2+}) est remplacé par plomb (Pb^{2+}) (Foy *et al.*, 1978).
- D'une façon indirecte**, en induisant une carence en ces ions divalents (Foy *etal.*,1978).

II.1. Généralité sur la phytoremédiation

Il existe plusieurs méthodes de dépollution des sols. Les méthodes physicochimiques présentent l'inconvénient d'être coûteuses et lourdes à mettre en œuvre (Gadd, 2000). De plus, elles perturbent fortement l'activité biologique des sols et altèrent leur structure physique. Le besoin de nouvelles techniques économiquement compétitives et pouvant préserver les caractéristiques du sol s'est fait sentir et l'utilisation des biotechnologies s'est avérée être une alternative intéressante. La capacité de certaines plantes à tolérer ou même à accumuler des métaux a permis d'ouvrir de nouvelles voies de recherche sur le traitement des sols: on parle de phytoremédiation (Gadd, 2000).

II. 2. Définition de la phytoremédiation

Le terme phytoremédiation vient du préfixe grec « phyto » (plante) et du mot latin *remedium* (pour corriger ou éliminer un mal)(Ghosh et sing, 2005). La phytoremédiation ou la bioremédiation est une nouvelle technologie qui utilise les plantes vertes et/ou des microorganismes associés (ex : bactéries, champignons) pour le nettoyage d'un environnement pollué par les métaux lourds et les métalloïdes (Smits et Freeman, 2006 ; Lamb *et al.*, 2010).

II.3. Techniques de la phytoremédiation

La phytoremédiation regroupe différentes méthodes qui sont appliquée selon la contamination et les objectifs de remédiation (Brooks, 1998; Bert *et al.*, 2000), qui peuvent mener à la dégradation du contaminant, enlèvement (par accumulation ou dissipation), ou immobilisation (Bruce Pivetz, 2001). Actuellement, la phytoremédiation se divise en cinq domaines d'application différents : phyto-extraction, phyto-transformation, rhizo-dégradation, phyto-stabilisation et phyto-volatilisation (Pulford et Watson, 2003; Vavasseur *et al.*, 2003).

II.3.1 Phytoextraction

La phytoextraction est une technologie *in situ* liée aux plantes qui sont capables d'absorber les métaux lourds (Pb, Cd, Cu, Zn ...) par leurs racines et de les transporter ensuite vers les parties aériennes (Zheng *et al.*, 2011). Les tiges et les feuilles sont alors récoltées et

éliminées des sites pollués. Ceci contribue à rétablir la fertilité de larges zones agricoles, contaminées pour la plupart dans leur couche supérieure (Alkorta *et al.*, 2004).

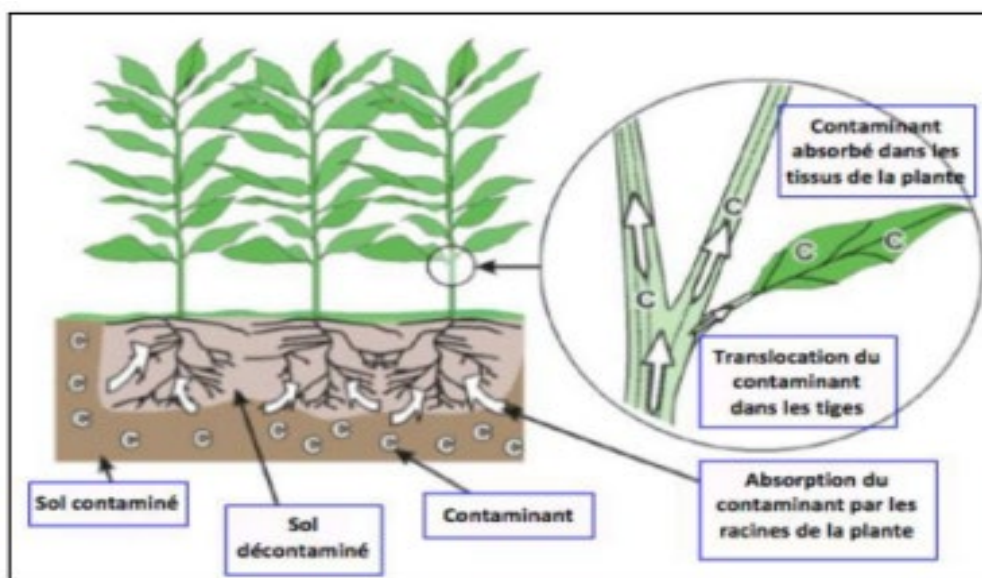


Fig. 02:Processus de phytoextraction (Itrc, 2001).

Deux stratégies sont proposées pour une phytoextraction réussie des sols contaminés par les métaux lourds et autres polluants : phytoextraction continue et la phytoextraction induite ou assistée par des chélateurs.

Phytoextraction naturelle

Pour qu'une plante soit adéquate pour la phytoextraction d'un polluant donné, elle doit être capable durant toute sa vie de résister à la toxicité du polluant et de l'accumuler dans ses parties aériennes. En effet, la phytoextraction naturelle utilise des plantes hyperaccumulatrices qui peuvent naturellement extraire de teneurs importantes de métaux présent sur des sols pollués sans présenter de signes de phytotoxicité (Quartacci *et al.*, 2006 ; Zheng *et al.*, 2011).

Phytoextraction induite ou assistée par des chélateurs

Elle est basée sur l'utilisation de chélateurs permettant à des plantes non hyperaccumulatrices mais de biomasse importante d'absorber des teneurs élevées en métaux à partir d'un site pollué. La solubilité des métaux est accrue par des chélateurs tels que l'acide citrique, l'EDTA et l'EDDS. Ils sont appliqués soit directement sur le sol ou en condition

hydroponiques (Saifullah *et al.*, 2009 ; Shahid *et al.*, 2011 ; Zheng *et al.*, 2011) soit en pulvérisation foliaire (Meers et Tack., 2004). C'est ainsi que l'EDTA a permis d'améliorer la mobilisation et le transport subséquent du Cd, Cr, Cu, Ni, Pb et Zn par la moutarde indienne et le tournesol (Ann-Peer *et al.*, 2003). Cependant, la haute solubilité dans l'eau de certains complexes chélateurs-toxique peut résulter dans leur déplacement vers les couches plus profondes du sol et ceci consiste un risque potentiel important de contamination de l'eau et des estuaires (Ann-Peer *et al.*, 2003).

II.3.2. Rhizofiltration

C'est un procédé similaire à la phytoextraction dans lequel les composés métalliques sont accumulés au niveau des racines. La rhizofiltration s'utilise plus facilement sur des cultures hors-sol ou l'élément à dépolluer est de l'eau contaminée. Dès que les racines sont saturées en métaux, on récolte les plantes puis on les traite selon le même principe qu'en phytoextraction (Repellini, 2000).

II.3.3 Phytostabilisation

La phytostabilisation utilise le couvert végétal pour diminuer la mobilité et la biodisponibilité des métaux présents dans le substrat et, dans l'idéal, immobiliser les métaux *in situ*. Les plantes utilisées en phytostabilisation sont des espèces métallo-tolérante s'adoptant une stratégie d'exclusion. Les métaux sont piégés au niveau de la racine, en limitant la dispersion des contaminants vers les nappes phréatiques, l'atmosphère et les écosystèmes avoisinants. Eventuellement, des amendements réduisant la disponibilité des métaux lourds, peuvent être combinés à la plantation de végétaux (Cunningham et Berti, 1993; Vangronsveld *et al.*, 2009).

II.3.4. Phytodégradation ou phytotransformation

La phytodégradation (ou phytotransformation) consiste à convertir des polluants organiques en composés moins toxiques voire même être totalement minéralisés. Cette décomposition est réalisée grâce à des enzymes variées sécrétées par la plante (Chaudhry *et al.* 1998). Cette dégradation peut avoir lieu soit hors de la plante, grâce à l'activité des micro-organismes présents dans l'environnement des racines (rhizosphère), soit dans la plante après absorption du composé puis dégradation dans les cellules, les plantes produisent des enzymes qui aident catalyser et accélérer les réactions chimiques de

dégradation. Les structures moléculaires complexes des contaminants sont dégradées dans des molécules plus simples et moins toxiques (Rudolph, 2010).

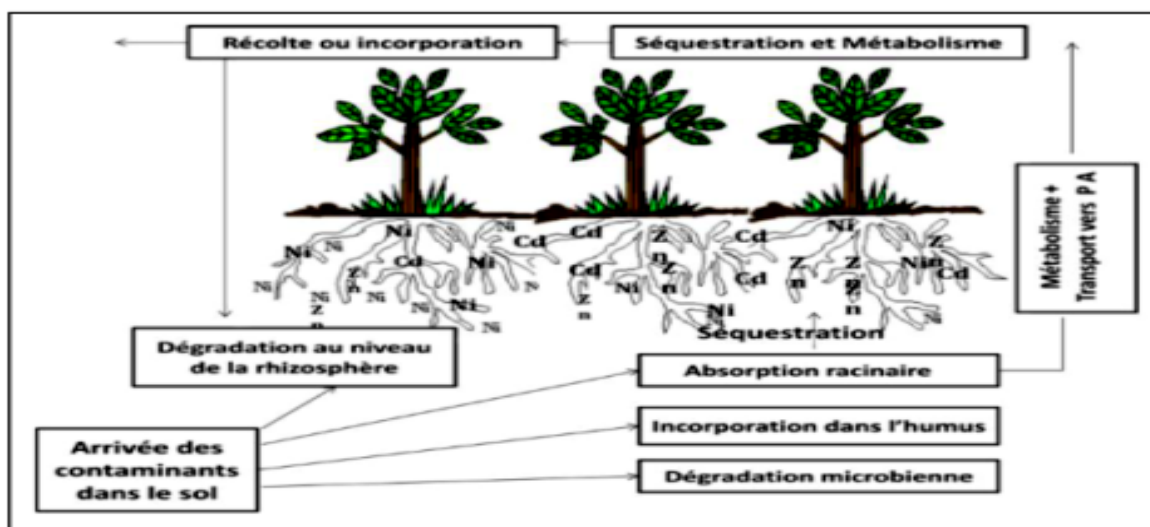


Fig.03 : Processus de la phytodégradation des contaminants au niveau du sol (Chedly, 2006).

II.3.5. Phytovolatilisation

Dans ce procédé, les contaminants solubles sont absorbés par les racines, transportés vers les feuilles et volatilisés dans l'atmosphère par les stomates sous formes moins toxiques ou après une modification métabolique. Ainsi, le sélénium peut être relâché dans l'atmosphère sous forme de diméthyle sélénite ou de diméthyle disélénite (Zayed *et al.*, 1998).

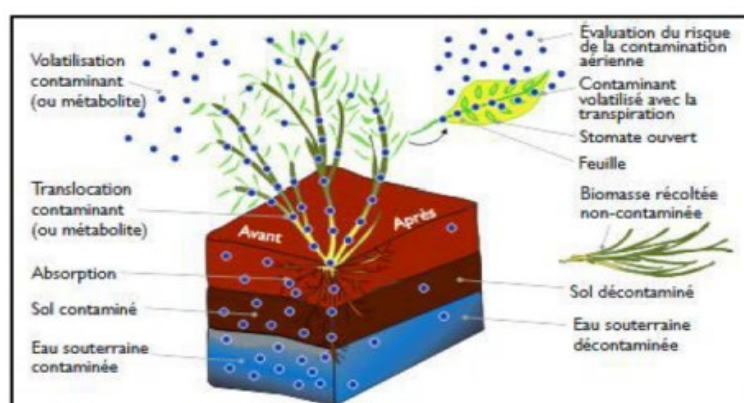


Fig. 04 : Technique de phytovolatilisation (Louise, 2016).

II.4. Avantages et limites de la phytoremédiation

II.4.1. Avantages

La technique présente de nombreux avantages :

- En adéquation avec le développement durable
- Gestion *in situ* des terres : pas de transfert de sol
- Traitement sur de grandes superficies (Bert, 2012).
- Par comparaison avec les traitements physico-chimiques, la phytoremédiation montre un faible coût (se situe en moyenne entre 2 et 100 dollars/m³).
- Elle provoque une perturbation minimale de l'environnement et permet même de rentier le cycle de dégradation de la matière organique là où la végétation avait disparu.
- La décontamination par les plantes présente aussi l'avantage de réduire l'érosion et le lessivage des sites, ce qui maintient le polluant à proximité de la plante (Berti *et al.*, 1995).
- récupération et réutilisation de métaux de valeur peut être possible (des entreprises se spécialisent dans le « phytominage ») (Rudolph, 2010).

II.4.2. Limites

En regard de ses nombreux avantages, la phytoremédiation ne présente que peu de limitations :

- Durée de décontamination longue, de l'ordre de plusieurs années (2 à 20 ans)
- Risque de déstabilisation de l'écosystème local (Bert, 2012).
- Risque d'écoulement des contaminants dans la nappe phréatique.
- Le niveau et le type de contamination influence la phytotoxicité des polluants (dans Certains cas, la croissance ou la survie des plantes peut être réduite).
- Problème de multi-pollutions qui limite le choix des plantes (Rudolph, 2010).

III.1. Généralité sur l'Atriplex

Les plantes du genre *Atriplex* sont des halophytes présentes dans la plupart des régions du globe (Kenet *al*, 1998) ce développe sur les surface riche en chlorures et nitrates (terrains salés) (LeHouérou, 1992). Actuellement les plantes les mieux adaptées pour stabiliser et augmenter la production fourragère en climat semi-aride et aride.

L'*Atriplex* est le plus grand et plus diversité de la famille des Chenopodiaceae (Amaranthaceae) qui comprend 1400 espèces, réparties en une centaine de genres. Le genre *Atriplex* comprend environ 417 espèces de 48 dans le bassin méditerrané, et 5 espèces employés pour le fourrage (Wilson, 1994) ils se distinguent :

- ❖ *Atriplex nummularia* : en raison de productivité élevé
- ❖ *Atriplex halimus* : en raison de sa grande rusticité et sa facilité d'implantation.
- ❖ *Atriplex canescens* : en raison de sa haute productivité et son adaptation au sol sableux.
- ❖ *Atriplex glauca* : en raison de sa facilité d'implantation par semis direct et de son rôle antiérosif.
- ❖ *Atriplex mollis* : en raison de son adaptation au sol hydro morphes salés (Berri, 2009).

Les *Atriplex* sont des arbustes fourragers dans les systèmes de culture alley cropping, elles ont un port généralement très ramifié, formant des touffes pouvant allant de 0,5 à 3 m de diamètre et 0,5 à 3 m de hauteur (Djellakh F, 2015).

Généralement, il est associé aux sols salins ou alcalins et aux milieux arides, désertiques ou semi-désertiques (Rosas, 1989).

Les espèces du genre *Atriplex* ont caractérisées par le haut degré de tolérance à l'aridité et à la salinité; et pour procurer des fourrages riches en protéines et en carotène. Par ailleurs, elles ont la propriété de produire une abondante biomasse foliaire et de la maintenir active durant les périodes défavorables de l'année.

Le genre *Atriplex* appartient au groupe des plantes en mesure de fixer le CO₂ par biosynthèse C₄. De nombreuses recherches ont démontré que ce type de plantes est

caractérisé par une grande productivité, une résistance au déficit hydrique, une capacité particulière d'utiliser l'énergie lumineuse et un métabolisme qui exige du sodium comme élément essentiel. Pratiquement toutes les espèces appartenant au genre *Atriplex* sont dioïques, il existe cependant des arbustes monoïques (Mullas, 2004).

III.2. *Atriplex canescens*

III.1.2. Définition

Atriplex canescens (*Atriplex Fourwing*) est l'une des espèces arbustives plus largement ensemencées pour la remise en état, remise en végétation et amélioration de l'habitat semi-arides occidentale aux États Unis. Il s'est avéré pour être relativement facile à établir à partir de semis direct, même sur des perturbations sévères, et il fournit de précieux fourrage pour toutes les catégories de bétail ainsi que les ongulés sauvages (McArthur et Monsen, 2004).



Fig5 : Plante *Atriplex canescens*
(Maalem, 2002)

Nom commun : pourpier de mer

Nom vulgaire arabe : G'ttaf

III.3.2. Origine d'*Atriplex canescens*

L'aire d'origine d'*Atriplex canescens* s'étend du Mexique central au Canada (Amérique du nord). Espèce originaire du nord et Ouest américain, on la trouve au Colorado, Utah, Wyoming, Nevada, New Mexico, Ouest du Texas et le Nord du Mexique.

Arizona), et à partir de la Tunisie vers l'Algérie pour être utilisée dans les projets de fixation des dunes (Gougue, 2005).

III.4.2. Taxonomie de l'*Atriplex canescens*

Embranchement : Spermaphytes (Phanérogames)

Sous-embranchement : Angiospermes

Classe : Dicotylédones

Famille: *Chenopodiaceae*

Espèce : *Atriplex canescens*

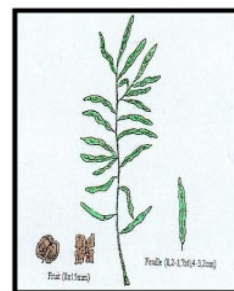


Fig 6: *Atriplex canescens*
(Mâalem, 2002)

III.5.2. Morphologie d'*Atriplex canescens*

Espèce originaire du nord-ouest américain, on la trouve au Colorado, Utah, Wyoming, Nevada, New Mexico, Ouest du Texas et le Nord du Mexique. C'est un arbuste à hauteur de l'ordre de 1 à 3 m, formant des touffes de 1 à 3 m de diamètres.

- Les rameaux :** sont blanchâtre, étalés ascendants ou arqués retombants vers l'extrémité (Franclet et Le Houérou ,1971).
- Les tiges :** sont très ramifiées, solides et blanchâtres
- Les feuilles :** sont simples, alternées, entières, linéaires à oblongues (Daniel et Loren ,2005) de couleur vert grisâtre et grise argentée à reflets dorés, pouvant atteindre 3 à 5 cm de longueur et 0,3 à 0,5 cm de largeur. Des feuilles axillaires plus petites (0,5 à 1,5 sur 0,1 à 0,3cm) sont aussi présentes le long de l'axe feuillé (Franclet Et Le Houérou ,1971).
- Le système racinaire :** est ramifié et communément très profond
- Fleurs :** L'*Atriplex canescens* est dioïque, avec des fleurs mâles et femelles sur des plantes séparées ; cependant, quelques plantes monoïques peuvent être trouvées dans une population (Daniel et Loren, 2005). L'inflorescence en épis simples ou paniculés au sommet des rameaux pour les mâles, axillaires ou en épis sub terminaux pour les femelles (Franclet et Le Houérou, 1971).



Fig 7 : A : Partie aérienne ; B : Fruits de l'*Atriplex canescens* ; C : Feuilles de l'*Atriplex canescens* ; D : Arbuste d'*Atriplex canescens* (Felger *et al.*, 2014).

III.3.Exigences édapho-climatiques

Elle se trouve dans les étages bioclimatiques semi aride et aride supérieur et moyen, à hiver chaud et froid (Franclet et Le Houérou, 1971) entre des isohyètes de 150 à 200mm dans son aire d'origine d'optimum et de température qui peut aller de -2°C jusqu'à $+35^{\circ}\text{C}$ (Hamidi, 2000). Elle peut résister également à la sécheresse, et tout cela explique la grandeur de l'aire de répartition de cette espèce dans le monde (Franclet et Le Houérou, 1971).

III.4.Potentiel écologique et économique de l'*Atriplex*

III.4.1.Intérêt fourrager

Au vu de sa grande résistance à la sécheresse, à la salinité et à l'ensoleillement, les *Atriplex* constituent une réserve fourragère importante, utilisable par les ovins, les caprins et les camélidés (Castroviejo *et al.* 1990). Sous des précipitations annuelles de 200 à 400 mm, *Atriplex halimus* compte, avec *Atriplex nummularia* et *Atriplex canescens*, parmi les espèces les plus intéressantes, produisant de 2000 à 4000 kg de matière sèche par an et par ha de fourrage riche en protéine (10 à 20 % de la MS) (LeHouérou., 1992; Ben Ahmed *et al.* 1996). Cependant, la teneur importante en NaCl du fourrage augmente la consommation en eau des animaux et

diminue son appétence, pouvant à terme limiter l'exploitation d'*Atriplex halimus* en tant que plante fourragère dans les régions où l'accès à l'eau est difficile.

III.4.2. Mise en valeur des sols pauvres

Les *Atriplex* sont les arbustes les mieux adaptés aux régions arides et au sol pauvres, d'autres part, la couverture d'*Atriplex* accroît considérablement la perméabilité des sols et l'augmentation de drainage dans les horizons superficiels. Elles permettent la reconstitution d'un tapis végétal herbacé. Elles sont susceptibles de mettre en valeur des terres où la végétation naturelle est profondément dégradée et la production agricole irrégulière. Les *Atriplex* permettent également de remettre en état de nombreux pâturages à flore et sols dégradés. En Algérie les essais réalisés dans les régions de Djelfa et Boussaâda avec plusieurs espèces d'*Atriplex* dans le cadre du "barrage vert" ont donné des résultats satisfaisants (Benrebiha, 1987).

III.4.3. Mises en valeur des sols salés

Les plantations d'*Atriplex* peuvent permettre la récupération des zones salées surtout avec l'*Atriplex halimus* qui est particulièrement résistant au NaCl. Sa croissance est stimulée en présence de NaCl à 150 Mm (Ben Ahmed *et al.* 1996). Les *Atriplex* peuvent aussi "désaliniser" les sols. En effet la teneur en NaCl atteint 20% de la matière sèche pour *Atriplex nummularia* (Sarson., 1970). IL est possible d'extraire d'un hectare 1100 Kg de NaCl en une année de culture (Franclet et LeHouerou, 1971). Les *Atriplex* sont donc des plantes qui peuvent être utilisées dans les régions menacées par la salinité. D'après LeHouerou et Pontanier (1987), les espèces d'*Atriplex* qui ont suscité un intérêt particulier sont: *Atriplex glauca*; *Atriplex malvana*; *Atriplex repanda*; *Atriplex atacamensis*; *Atriplex mollis*; *Atriplex sembiccata*; *Atriplex halimus*; *Atriplex canescens*; *Atriplex vesicaria*. Selon ces auteurs, cinq espèces seulement présentent un réel intérêt pratique dans un avenir immédiat:

- Atriplex nummularia***: en raison de sa productivité élevée et sa bonne appétibilité.
- Atriplex halimus***: en raison de sa grande rusticité et de sa facilité d'implantation.

- Atriplex canescens*: en raison de sa haute productivité et son adaptation aux sols sableux.
- Atriplex glauca*: en raison de sa facilité d'implantation par semis direct et de son rôle antiérosif.
- Atriplex mollis*: en raison de son adaptation aux sols hydromorphes salés et de sa bonne appétibilité.

I.1. Objectif


Cette étude a pour but d'évaluer le comportement morpho-physiologique de l'espèce de l'*Atriplex canescens* (Pursh) Nutt vis-à-vis au stress au plomb à trois doses de $Pb(NO_3)_2$: 0, 5000 et 10 000 ppm.

I.2. Effet de plomb sur les paramètres morpho-physiologiques d'*Atriplex canescens* (Pursh) Nutt.

I.2.1. Effet de plomb sur la surface foliaire des plantes d'*Atriplex canescens*(Pursh) Nutt.

Les résultats obtenus (tableau 03) montrent une diminution hautement significative de la surface foliaire des plantes de l'*Atriplex canescens* (Pursh) Nutt. Stressées par le plomb par rapport à la plante témoin. La valeur moyenne de la surface foliaire la plus élevée est enregistrée chez les plantes témoins (14.05 cm²), tandis que les valeurs les plus basses sont enregistrées 6.28 et 5.28 cm² chez les plantes stressées avec les doses 5000 et 10000 ppm de plomb respectivement.

Tableau 03 : Les valeurs de la surface foliaire (cm²) des feuilles de l'*Atriplex canescens* (Pursh) Nutt enregistrées sous l'effet de plomb.

Espèce	Doses de plomb	Surface foliaire (cm ²)
<i>Atriplex canescens</i> (Pursh) Nutt	0 ppm	14.05
	5000 ppm	6.28**
	10 000 ppm	5.28**
	Pb	



I.2.2. Effet de plomb sur la longueur des tiges et racines chez l'*Atriplex canescens*(Pursh) Nutt

L'examen du tableau (04) montre que La longueur des tiges de l'*Atriplex canescens* est largement supérieure à celle de la longueur des racines. On remarque que la longueur des tiges et des racines des plantes stressées par le plomb diminue par rapport au témoin, dont La

longueur des tiges des plantes stressées au plomb est de 54,66 et 59.33 cm respectivement pour les doses 5000 et 10000 ppm. Par contre on a enregistré une augmentation de la longueur des racines des plantes traitées à 5000 ppm de plomb à 43 cm comparativement à celle des plantes témoins (41.83 cm). La dose 10000 ppm du plomb provoque une diminution importante de la longueur des racines de la plante (22.33 cm).

L'analyse de la variance montre un effet hautement significatif du plomb sur la longueur des tiges par rapport au témoin. Alors qu'elle est significative chez les racines de *Atriplex canescens*

Tableau 04 : Les valeurs de la longueur des tiges et racines de *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt enregistrées sous l'effet de plomb.



Espèce	Doses de plomb	Longueur des tiges	Longueur des racines
<i>Atriplex canescens</i> (Pursh) Nutt	0 ppm	104.3	41.83
	5000 ppm	54.66**	43
	10 000 ppm	59.33**	22.33*
	Pb		

I.2.3. Effet de plomb sur le poids de la matière fraîche aérienne et racinaire de *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt

Les résultats obtenus (Tableau 05) montrent une diminution importante de poids frais de la partie aérienne et racinaire des plantes stressées par le plomb par rapport à la plante témoin. Le poids frais de la partie aérienne de la plante est largement supérieur à celui de la partie racinaire. La production de la matière fraîche aérienne des plantes stressées varie entre 48.01 g à la dose 5000 ppm de Pb et 27.63 g à la dose 10000 ppm de Pb.

Les valeurs obtenues pour le poids frais de la partie racinaire des plantes traitées à 5000 ppm de plomb diminuent à 1.53 g comparativement à celle des plantes témoins (3.73 g). L'enrichissement de solution 10000 ppm de plomb provoque une diminution plus importante (1.1 g de la matière fraîche racinaire comparativement au témoin).

Tableau05 : les valeurs du poids de la matière fraîche aérienne et racinaire de l'*Atriplex canescens* (Pursh) Nutt sous l'effet de plomb

Espèce	Doses de plomb	poids de la matière fraîche aérienne	poids de la matière fraîche racinaire
<i>Atriplex canescens</i> (Pursh) Nutt	0 ppm	84.76	3.73
	5000 ppm	48.06**	1.53**
	10 000 ppm	27.63**	1.1**
	Pb		



L'analyse de la variance que la production de la matière fraîche aérienne et racinaire de l'*Atriplex canescens* est hautement significative ($P = 0.00$) par rapport à celle des plantes témoins.

I.2.4. Effet de plomb sur le poids de la matière sèche aérienne et racinaire de l'*Atriplex canescens* (Pursh) Nutt

Les résultats obtenus (tableau 06) montrent que la matière sèche aérienne et racinaire de l'*Atriplex canescens* diminue progressivement avec les doses croissantes du plomb appliquées à la plante. La matière sèche aérienne est plus importante que la matière sèche racinaire de la plante.

La production de la matière sèche aérienne de la plante stressée au plomb est de 10.1g pour la dose de 5000 ppm de plomb et de 7.56 g pour la dose de 10000 ppm de plomb par rapport au témoin (22.53g). Les valeurs les plus élevées du poids sec de la partie racinaire sont obtenu chez les plantes non stressées, Alors la valeur la plus basse est de 0.33g où elle est enregistrée chez les plantes stressées à 10 000 ppm par rapport aux plantes soumises à 5000 ppm de Pb dont la valeur du poids sec des racines est de 0.5g.

Tableau 06 : Les valeurs de la matière sèche aérienne et racinaire de *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt sous l'effet de plomb


Espèce	Doses de plomb	poids de la matière sèche aérienne	poids de la matière sèche racinaire
<i>Atriplex canescens</i> (Pursh) Nutt	0 ppm	22.43	1.8
	5000 ppm	10.1**	0.5**
	10 000 ppm	7.56**	0.33**
	Pb		

L'analyse de la variance présente un effet hautement significatif du plomb sur le poids sec de la partie aérienne et racinaire de *Atriplex canescens* par rapport aux poids sec de la partie aérienne et racinaire des plantes témoins.

I.2.5. Effet de plomb sur la teneur relative en eau chez *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt

Les résultats obtenus (Tableau 07) montrent une diminution significative de la teneur relative en eau chez *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt stressée au plomb par rapport au témoin. On remarque dans les conditions optimales et au niveau des plantes témoins, le RWC des plantes est de 75.47%, tandis que la valeur la plus élevée du contenu relatif en eau (RWC) est remarquée chez les plantes stressées à 5000 ppm (79.20%), Alors que la teneur la plus faible est enregistrée à la dose 10000 ppm (74.78 %) par rapport au témoin.

Tableau 07 : teneur en eau relative chez *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt sous l'effet de plomb

Espèce	Doses de plomb	teneur relative en eau (RWC)
<i>Atriplex canescens</i> (Pursh) Nutt	0 ppm	75.47
	5000 ppm	79.20
	10 000 ppm	74.78
	Pb	




I.2.6. Effet de plomb sur la teneur en chlorophylle chez l'*Atriplex canescens* (Pursh) Nutt

Les résultats obtenus (tableau 08) montrent que la moyenne la plus basse de la teneur en chl a est enregistrée chez les plantes de l'*Atriplex canescens* stressées au plomb à 5000 ppm (0.13 mg/g) par rapport au témoin dont la valeur en chl a est de 0.125 mg/g. Alors que la présence du plomb à une dose de 10 000 ppm dans le milieu diminue la teneur en chl a à une valeur moyenne de 0.118 mg/g. Le test de comparaison des moyennes montre que le plomb n'a aucun effet sur la teneur en chlorophylle a.

L'application croissante du plomb entraîne une diminution non significative des teneurs en chl b au niveau des plantes traitées à différentes doses du plomb. En absence du plomb et chez les plantes témoins, la valeur de la teneur en chl b enregistrée est plus importante que chez les plantes stressées au à 5000 et 10 000 ppm d Pb où on a enregistré les valeurs de 0.189 et 0.174 mg/g respectivement avec les doses.

La teneur en chlorophylle totale diminue d'une façon non significative en fonction de l'accroissement des doses du plomb appliquées. Les plantes non stressées (0 ppm) contiennent plus de chlorophylle totale comparativement aux plantes stressées au plomb à 5000 et 10000 ppm, dont on a enregistré les valeurs suivantes : 0.352, 0.319 et 0.292 mg/g respectivement avec les doses 0, 5000 et 10 000 ppm de Pb.

Tableau 8 : teneur en chlorophylle a et b et totale chez les plantes de l'*Atriplex canescens* (Pursh) Nutt sous l'effet de plomb

Espèce	Doses de plomb	Teneur en chlorophylle		
		chl a	chl b	chl t
<i>Atriplex canescens</i> (Pursh) Nutt	0 ppm	0.125	0.227	0.352
	5000 ppm	0.13	0.189	0.319
	10 000 ppm	0.118	0.174	0.292
	Pb			

II. Discussion générale

Les résultats obtenus montrent que le plomb induit des modifications dans les plantes stressées conduisant à une réduction de la surface foliaire, inhibant l'allongement des parties aériennes et souterraines de la plante, diminution de la biomasse sèche et fraîche, une perturbation des fonctions physiologiques (RWC et chlorophylle).

II.1. Effet de plomb sur la surface foliaire chez l'*Atriplex canescens*

Une diminution importante de la surface foliaire dans l'*Atriplex canescens* stressées par le plomb par rapport à la plante témoin. Le traitement par le Pb induit une réduction de la surface foliaire des plantes *Lathyrus sativus* (Judicaëlle, 2008).

II.2. Effet de plomb la longueur des tiges et des racines chez l'*Atriplex canescens*

Les résultats obtenus montrent une diminution importante de la longueur des tiges et la longueur des racines des plantes stressées par le plomb à différentes concentrations (5000, et 10000ppm) par rapport à la plante témoin, dont la diminution est plus importante dans les racines des plantes stressées par le plomb comparativement aux tiges, car les racines sont les plus sensibles aux métaux lourds par rapport à d'autres organes végétaux, parce qu'elles sont les premières cibles de passage et d'accumulation de ces métaux (Seregin et Ivanov, 2000), particulièrement, les racines primaires qui sont plus sensibles que les racines latérales (Obroucheva *et al.*, 1998). Une exposition à une faible concentration de plomb conduit au développement de racines plus courtes mais plus compactes (Boutchiche, 2017). une forte teneur en plomb inhibe la croissance de ces derniers (Obroucheva *et al.*, 1998). Sur de longues durées, les traitements au plomb, même à des doses non-létales, peuvent conduire à l'apparition de nécroses au niveau des apex racinaires (Khan et Frankland, 1983 ; Liu *et al.*, 2000).

Les résultats obtenus sont similaires avec ceux de Brunet (2008), qui présentent chez les plantes contaminées par le plomb, un ralentissement de leur développement et une inhibition de la croissance des racines et des parties aériennes. Ceci est due probablement à l'inhibition de la division des cellules racinaires (Eun *et al.*, 2000), et de l'élongation des cellules (Seregin et Ivanov, 1997 ; Obroucheva *et al.*, 1998 ; Malkowski *et al.*, 2002) comme il a été montré chez *Lemnaminor* (Samardakiewicz et Wozny, 2005). Chez plusieurs espèces,

comme *Triticum aestivum* (Dey *et al.*, 2007 ; Kaur *et al.*, 2013), *Z. mays*L. (Kozhevnikova *et al.*, 2009), *Pisumsativum* (Malecka *et al.*, 2009) et *Sedumalfredii* (Gupta *et al.*, 2010). Le Pb a également inhibé l'allongement des racines et des tiges et l'expansion des feuilles chez l'ail, l'orge et le radis noir (Nagajyoti *et al.*, 2010). Verma et Dubey (2003) ont également montré que la croissance des racines du riz est inhibée de manière significative avec l'augmentation du plomb.

II.3.Effet du plomb sur la matière sèche et fraîche des parties aériennes et racinaires chez l'*Atriplex canescens*

Les résultats obtenus montrent que le poids frais et le poids sec de la partie aérienne et racinaire de l'*Atriplex canescens* diminue au fur et à mesure que les doses de plomb augmentent. Cette réduction de la croissance pondérale de la partie aérienne et racinaire a également été relevée chez plusieurs espèces soumises à la présence du Pb comme par exemple certaines espèces de *Fabacées* (Huang et Cunningham, 1996 ; Piechalak *et al.*, 2002), *Plantago major* (Kosobrukhov *et al.*, 2004), *Elsholtzia argyi* (Islam *et al.*, 2007), *Athyrium wardii* (Zou *et al.*, 2010), les petits pois (Kopittke *et al.*, 2007), le radis (Gopal et Rizvi, 2008), le maïs (Ekmekçi *et al.*, 2009), l'ail (Liu *et al.*, 2009), *Arabidopsis thaliana* (Phang *et al.*, 2011), *Glomus etimicatum* et *Calopogonium mucunoides* (Souza *et al.*, 2012).

II.4.Effet de plomb sur la teneur relative en eau (RWC) chez l'*Atriplex canescens*

Les résultats obtenus révèlent que le stress métallique au plomb appliqué aux plantes d'*Atriplex canescens* entraîne une diminution de la teneur en eau (RWC) des plantes étudiées. Ces résultats sont concordants avec ceux de (Bouziyani, 2012), où il a observé une diminution de la teneur en eau sous l'effet du plomb chez la fève (*Vicia faba* L.).

II.5.Effet de plomb sur chlorophylle a, b et totale

Le stress au plomb a provoqué une légère diminution de la chlorophylle a, b et totale d'une manière générale chez les plantes stressées. Huang *et al.*, 1974; Bazzaz *et al.*, 1975; Poskuta *et al.*, 1988 ont montré que l'exposition des plantes au plomb conduit à une forte inhibition de la photosynthèse, du rendement photosynthétique et à une limitation du taux d'assimilation de CO₂, ceci s'explique par une déformation des structures chloroplastiques (Stefanov *et al.*, 1995). Le rendement photosynthétique très sensible, peut chuter de plus de

50 % Cette inhibition s'explique par la diminution des teneurs en chlorophylles. Le plomb peut également inhiber certaines enzymes intervenant dans le cycle de Calvin (Vallee et Ulmer, 1972). Cette inhibition s'explique par la diminution de la synthèse de chlorophylle, de plastoquinone et de caroténoïde (Burzynski, 1987), un transport des électrons altéré (Rachid *et al.*, 1994).

Le plomb est l'un des contaminants les plus répandus dans la nature et qui se pose un problème majeur en environnement. Il est toxique ou nocif, même à faible concentration et il n'est pas biodégradable, il persiste et s'accumule dans les sols. Quand il a réussi de pénétrer dans la plante, il peut affecter plusieurs processus physiologiques de celle-ci et provoquer la mort cellulaire à plus fortes.

Cette étude consiste à déterminer l'impact du plomb à différentes doses (0, 5000, 10000 ppm) sur les paramètres morpho-physiologique de l'*Atriplex canescens* (Pursh) Nett. Les résultats obtenus ont montré que la surface foliaire et la croissance de l'*Atriplex canescens* sont sensibles au stress causé par le plomb. La longueur des racines est plus affectée par les métaux lourds, ceci est dû au phénomène d'absorption des racines qui sont plus exposées aux effets toxiques des métaux. Les concentrations de plomb agissent négativement sur la production de biomasse des parties aériennes et racinaires de l'*Atriplex Canescens*. L'impact de plomb sur la teneur en chlorophylle (Chl a, Chl b et Chl totale) révèle une diminution à différentes concentrations du plomb. L'augmentation de la concentration des du plomb induit une réduction dans la photosynthèse et une inhibe de la synthèse de la chlorophylle, toutes ces modifications observées pourraient être prises comme biomarqueurs de toxicité de plomb sur la plante.

Suite aux résultats que nous venons de décrire, on peut proposer quelques orientations afin d'apporter de nouvelles informations sur les réponses des plantes aux stress due au plomb.

Il sera important aussi de tester les capacités de tolérance de l'*Atriplex canescens* sur des milieux contenant par des métaux lourds. Ceci permettrait d'étudier les réponses de la plante aux autres métaux mais aussi sa réaction face à la combinaison de plusieurs d'entre eux qui pourrait induire une contrainte différente. De plus un phénomène de compétition entre les différents éléments métalliques pourra se produire permettant de déterminer.

Référence et bibliographique

A

Alkorta I., HernandezAllicaJ.,BecerrilJ.M.,AmezagaI., AlbizuI et Garbisu C. 2004. Recent findings on the phytoremediation of soils contaminated with environmentally toxic heavy metals and metalloids such as zinc, cadmium, lead and arsenic. *Environ Sci Biotechnol*.3 : 73-90.

B

Baize D. 1997. "Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols (France). "INRA Editions, Paris, 408 pp.

BaizeD. 2000.Guide des analyses en pédologie.2ème éd. INRA. Paris .257 p.**Bert V. 2012.** Les phytotechnologies appliquées aux sites et sols pollués: Etat de l'art et guide de mise en oeuvre. EDP Sciences, ADEME, Paris, 86 p

Benrebiha F.Z.1987.contribution à l'études la germination de quelque espèces d'Atriplex locales introduites, .Thèse ING d'état. Univ. Tlemcen:17, 18, +carte.

Ben Hassine A. et Bouzid S. 2008. Evaluation des capacités de résistance d'*Atriplex halimus* L. face au cadmium. *Geo-Eco-Trop*, **32**: 17 – 20.

Benrebiha,F.Z-1987 contribution à l'études la germination de quelque espèces d'Atriplex locales introduites, .Thèse ING d'état. Univ. Tlemcen:17, 18, +carte.

Bert V. 2012. Les phytotechnologies appliquées aux sites et sols pollués: Etat de l'art et guide de mise en oeuvre. EDP Sciences, ADEME, Paris, 86 p

BourellePetJBerthelin .1998. "Contamination des sols par les éléments traces : les risques et leur gestion." Rapport de l'Académie des sciences Ed. Lavoisier, Paris Tercé, M.(2002). Les éléments traces métalliques dans les sols. Approches fonctionnelles et spatiales. INRA Editions, Paris.

Bouziანი El Hadj. 2012. Contribution à l'étude de l'effet des métaux lourds (Plomb) sur caract de Mostaganem.ALGERIE

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

Bliefert, C., Perraud, R. 2003. Chimie de l'environnement : Air, Eau, Sols, Déchets. De Boeck. Paris. 12p.

Benrebaha F.Z. 1987. Contribution à l'étude de la germination de quelques espèces d'*Atriplex* locales introduites. Thèse ING d'état. Univ. Tlemcen: 17, 18, +carte.

Ben Hassine A. et Bouzid S. 2008. Evaluation des capacités de résistance d'*Atriplex halimus* L. face au cadmium. *Geo-Eco-Trop*, **32**: 17 – 20.

Brunet J, Repellin A, Varrault G, Terry N, Zuily-Fodil Y. 2008. Lead accumulation in the roots of grass pea (*Lathyrus sativus* L.): a novel plant for phytoremediation systems? *Comptes Rendus Biologies*. **331**, 859-864.

⌘

Cecchi M. 2008. Devenir du plomb dans le système sol-plante, Cas d'un sol contaminé par une usine de recyclage du plomb et de deux plantes potagères (Fève et Tomate). Thèse de doctorat, Toulouse 226 p.

Chaney R.L., Malik M., Li Y.M., Brown S.L., Brewer E.P., Angle J.S., Baker A.J.M. 1997. Phytoremediation of soil metals. *Curr. Opin. Biotechnol.* **8**: 279-284.

⌘

Dutuit, P., 1999. Etude de la diversité biologique de l'*Atriplex halimus* par le repérage in vitro et in vivo d'individus résistants à des conditions extrêmes du milieu et constitution de clones. Université de Paris-Sud. CTA. Contrat TS3. CT94., VOL. 264 :138-141.

⌘

Eun SO, Youn H S, Lee Y. 2000. Lead disturbs microtubule organization in the root meristem of *Zea mays*. *Physiologia Plantarum*. **110**, 357–365.

Environmental Action Programme (SMAP) relation to osmotic adjustment in two populations of *Atriplexhalimus* L.”, Plant growth Regul. **41**, 63-73.



Francllet A. et Le Houérou H.N., 1971 -Les Atriplex en Afrique du nord. Edition FAO. Rome. 271p.



Ghosh M et Sing S.P. 2005.A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of its by products. App Eco Environ Res. 3 : 1-18.de fin de formation. Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Lyon. 32 P.



HAMMOUM Z .2003. Contribution à l'étude de l'effet du plomb sur certains paramètres germinatifs et sur les activités lipasiques et amylasiques du blé. Mémoire de magister Université Badji Mokhtar-Annaba.



Kabata-Pendias A et Pendias H 2001. "Trace elements in soils and plants." CRC Press, BocaRaton, Florida, 2nd Edition, 209p. Elmsley J. 2001. Nature's Building Blocks.A-Z guide to the elements. Oxford University Press, Oxford, UK..

Kaur G, Singh HP, Batish D R, Kohli R K. 2013. Lead (Pb)-induced biochemical and ultrastructural changes in wheat (*Triticumaestivum*) roots.*Protoplasma*. **1**, 53-62.

Kozhevnikova A D, Seregin I V, Bystrova E I, Belyaeva A I, Kataeva M N, Ivanov VB. 2009. The effects of lead, nickel, and strontium nitrates on cell division and elongation in maize roots. *Russian Journal Plant Physiology*. **56**, 242-250.

Kosobrukhev A, Knyazeva I, Mudrik V. 2004. Plantago major plants responses to increase content of lead in soil: Growth and photosynthesis. *Plant Growth Regulation*. **42**, 145-151.

Koller E. 2004. Traitement des pollutions industrielles, Ed. Dunod, Paris, pp 424. Bourrellet P et J Berthelin .1998. "Contamination des sols par les éléments traces : les risques et leur gestion." Rapport de l'Académie des sciences Ed. Lavoisier, Paris.

KHEDIM I. 2019. Phytoremédiation par l'Atriplex planté dans des sols enrichis en cuivre, zinc, plomb et cadmium. université abdelhamid ben badis mostaganem

P

Lamb D.T., Ming H., Megharaj M et Naidu R. 2010. Phytoextraction and accumulation of lead in Australian native vegetation Arch Environ Contamin Toxicol. **58** (3) : 613-621.

Louis, Hénault-Ethier. 2016. ResearchGate phytoremédiation , Société québécoise de phytotechnologie - info@phytotechno.com 2030, Boul. Pie-IX, bureau 403, Montréal (Québec) H1V 2C8 PHYTOTECNO.COM

Le Houérou. 1992.- LE HOUEUROU H.N. 1992 : "The role of saltbushes (Atriplex sp.) in arid land rehabilitation in the mediterranean basin: A review", Agrof. Syst.,

M

Maire.R., 1962. carte phyto géologique de l'Algérie et de la Tunisie. Baconnier Alger 78p

Malkowski E, Kita A, Galas W, Karez W, Michael K. 2002. Lead distribution in corn seedlings (Zea mays L.) and its effect on growth and the concentration of potassium and calcium. *Plant Growth Regul.* **37**, 69-76.

Martinez J.P., Ledent J.F, Bajji M, Kinet J.M., Lutts S. 2003 : "Effect of water stress on growth, Na⁺ and K⁺ accumulation and water use efficiency in

McFarland, M. L., Ueckert, D., Hons, et Hartmann, S., 1994. Selective- placement burial of drilling fluids: effects on soil properties, buffalograss and fourwing salt-bush after 4 years. *J. Range Management*, vol. **47**: 475-480.

Mulas G. 2004. potentialité d'utilisation stratégique des plantes des genres Atriplex et opuntia dans la lutte contre la désertification. université des études de SASSARI. Term Priority Environmental Action Programme (SMAP) Février 2004.

Mulas G. 2004. Potentialités d'utilisation stratégique des plantes des genres *Atriplex* et *Opuntia* dans la lutte contre la désertification. Revue bibliographique .Short and Medium - Term Priority.

Monna, F. 2008.Cycles biogéochimiques des éléments traces métalliques aux interfaces de l'environnement. Thèse de doctorat: Sciences de la terre et de l'environnement : université de Bourgogne, 181 p.

✂

Nriagu JO 1978.The biogeochemistry of lead in the environment. Ed JO Nriagu, Elsevier Biomedical Press, Amsterdam

Nègre 1961. Petite flore des régions arides du Maroc occidentale tome I, Édition CNRS. Paris. P 179.

Nègre. R., 1961. Petite flore des régions arides du Maroc occidental. Tome I. Centre National de la Recherche Scientifique, Paris (France).

Ⓞ

OUAINI A. 2019.Effet des métaux lourds dans les sols amendés en bentonite(Plomb) sur les caractéristiques biométriques et biochimiqueschez quelques espèces d'*Atriplex* universite abdelhamid ben badis mostaganem.

℞

Patra M., BhowmickN., Bandopadhyay B., Sharma A., (2004). Comparison of mercury, lead and arsenic with respect to genotoxic effects on plant systems and the development of genetic tolerance. *Environmental and Experimental Botany*, **52**: 199-223.

PichardA2003. Plomb et ses dérivés. Institut national de l'environnement. 90p.**Parys E., Romanowska E., Siedlecka M., Poskuta JW. 1998.** The effects of lead on photosynthesis and respiration in detached leaves and mesophyll protoplasts of *Pisumsativum*. *Acta Physiologiae Plantarum***20**: 313-322.

Piechalak A, Tomaszewska B, Baralkiewicz D, Malecka A. 2002. Accumulation and detoxification of lead ions in legumes. *Phytochemistry*. **60**, 153–162.

Pereira LB, Tabaldi LA, Goncalves JF, Jukoski JO et Pauletto MM (2006).Effect of aluminium on inolevulinic acid dehydratase (ALAD) and the development of cucumber (*Cucumissativus*). *Environ Exp Bot* **57** : 106-115

Phang IC, Leung DWM, Taylor HH, Burritt DJ. 2011.Correlation of growth inhibition with accumulation of Pb in cellwall and changes in response to oxidative stress in *Arabidopsis thaliana* seedlings. *Plant Growth Regulation*. **64**, 17-25.

Pichard A.2002 .Plomb et ses dérivés. Fiche INERIS PILON-SMITS E. 2005. << Phytoremediation >>*Vicia faba* L.. Thèse doctorat, université de Toulouse. P 61- 67- 69- 84.

Potisate, Y., Phoungchandang, S., and Kerr, W. L. 2014. "The effects of predrying treatments and different drying methods on phytochemical compound retention and drying characteristics of *Moringa* leaves (*Moringa oleifera* Lam.)." *Drying Technology*, , Annual Review of Plant Biology, Vol. **56**, pp. 15-39.

Pourrut B.(2008).Implication du stress oxydatif dans la toxicité du plomb sur une plante modèle, 1985 32(16), 1970-32(16), 1970-1985

Parys E., Romanowska E., Siedlecka M., Poskuta JW., 1998. The effects of lead on photosynthesis and respiration in detached leaves and mesophyll protoplasts of *Pisum sativum*. *ActaPhysiologiaePlantarum***20**: 313-322.

Patra M., BhowmickN., Bandopadhyay B., Sharma A., 2000. Comparison of mercury, lead and arsenic with respect to genotoxic the development of genetic tolerance. *Environmental and ExperimentalBotany*, **52**: 199-223.

Pereira LB, Tabaldi LA, Goncalves JF, Jukoski JO et Pauletto MM (2006).Effect of aluminium on inolevulinic acid dehydratase (ALAD) and the development of cucumber (*Cucumis sativus*). *Environ Exp Bot* **57** : 106-115.

Phang IC, Leung DWM, Taylor HH, Burritt DJ. 2011.Correlation of growth inhibition with accumulation of Pb in cellwall and changes in response to oxidative stress in *Arabidopsis thaliana* seedlings. *Plant Growth Regulation*. **64**, 17-25.

Pichard A.2002 .Plomb et ses dérivés. Fiche INERIS

PILON-SMITS E. 2005. « Phytoremediation » , Annual Review of Plant Biology, Vol. **56**, pp. 15-39.

Pourrut B.2008. Implication du stress oxydatif dans la toxicité du plomb sur une plante modèle, *Vicia faba* L.. Thèse doctorat, université de Toulouse. P **61- 67- 69- 84**.

Potisate, Y., Phoungchandang, S., and Kerr, W. L. 2014. "The effects of predrying treatments and different drying methods on phytochemical compound retention and drying characteristics of Moringa leaves (*Moringa oleifera* Lam.)." *Drying Technology, effects on plant systems and*



Quartacci MF, Argilla A, Baker AJM et Navari-Izzo F 2006.Phytoextraction of metals from a multiply contaminated soil by Indian mustard. *Chem.* **63**: 918-925.

Quezel et Santa,1962 : Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales, Tome 1 et 2,, CNRS, 1962-1963, p 1170 -3989.

QUEZEL P. et SANTA S., 1962– Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. C.N.R.S. Paris.



Rudolph J, 2010. La phytoremédiation une technique «écologique» alternative aux techniques conventionnelles?La reconversion de friches industrielles et la dépollution des sols contaminés. Mémoire de fin de formation. Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Lyon. 32 P.

Raskin I., Kumar P.B.A.N., Dushenkov S., Salt D.E. (1994).Bioconcentration of heavy metals by plants.*Curr.Opin.Biotechnol.* **5**: 285-90

Rachid A, Camm EL, Ekramoddoullah AKM. 1994. "Molecular mechanism of action of Pb 2+ and Zn 2+ on water oxidizing complex of photosystem II". *FEBSLetters.*, 350, 296-298.

Rudolph J. 2010. La phytoremédiation une technique «écologique» alternative aux techniques

Rudolph J.2010 . La phytoremédiation une technique «écologique» alternative aux techniques conventionnelles?La reconversion de friches industrielles et la dépollution des sols contaminés. Mémoire

Raskin I., Kumar P.B.A.N., Dushenkov S., Salt D.E. 1994.Bioconcentration of heavy metals by plants.Curr.Opin.Biotechnol. **5**: 285-90.



Samardakiewicz S, Wozny A. 2005. Cell division in Lemna minor roots treated with lead. Aquatic Botany.**83**, 289-295.

Stoeckli F., Lavanchy A., Hugli-Cleary D.; In: Meunier F (1998).Editor, «Fundamentals of Adsorption. FOA-6», Paris : Elsevier, 75-80.

Sposito G, Lund LJ et Chang AC 1982.Trace metal chemistry in arid-zone field soils amended with sewage sludge : In Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd, and Pb in solid phases. Soil Sci SociAme J. **46** (2): 260-264.

Smits E.A.H.P et Freeman J.L. 2006. Environnemental cleanup using plants biotechnological advances and ecological consideration. Front Eco Environ. 4 : 203210.

Stark, J.M. et Redente,E.F., 1990.Plant uptake and cycling of trace-elements on retorted oil-shale disposal piles. Journal of Environmental Quality, vol. 19: 495-501.

Seregin IV, Ivaniov VB. 1997. Histochemical investigation of cadmium and lead distribution in plants. Fiziol. Rast. 44, 915-921.

Seregin IV, Ivanov VB. 2001. Physiological aspects of cadmium and lead toxic effects on higher plants. Russ Journal of Plant Physiol, **48** (4): 523-544

Souza LA, Andrade SAL, Souza SCR, Schiavinat MA. 2012.Arbuscular mycorrhiza confers Pb tolerance in Calopogonium mucunoides. Acta Physiologiae Plantarum. 34, 523531.

②

Talamali et al . ,2003 Talamli A., Bajji M., Le Thomas A., Kinet J- M. and Dutuit P., 2003- Flower architecture and sex determination: how does *Atriplexhalimus* play with floral morphogenesis and sex genes? *New Physiologist*157, pp105-113

Talamli, A., Dutuit P., Le Thomas A. and Gorenflot R., 2001- Polygamie chez *Atriplexhalimus* L. (Chenopodiaceae). *C.R. Acad. Sci. PARIS, Sciences de la Vie*324, pp107-113

③

Voorhees, M.E., Uresk, D.W.et trlica, M, J., 1991. Substrate relations for rillsce (*Atriplex suckleyi*) on bentonite mine soil. *J. Rouge Mange, Watson, M,C., Banuelos, G.S., and Riley, J. J. Trace elemnt, 1994, Vol. 44:34-38.*

④

Zheng L.J, Liu X.M, Lutz-Meindl U. et peer T. 2011. Effects of lead and EDTA-assisted lead on biomass, lead uptake and mineral nutrients in *lespedeza chimensis* and *lespedeza davidii*. *Water Air Soil Poll. 220 (1-4) : 57-68*

ZRIBA D., HARZLLAH H. E et BOUZID S., 1998 – Etude de la floraison et influence des facteurs de l'environnement, répartition des sexes et analyse florale in étude de la diversité biologique de l'*Atriplex halimus* par le repérage in vitro et in vivo d'individus résistants à des sècheresses.

Zou T, Li T, Zhang X, Yu H, Luo H. 2010. Lead accumulation and tolerance characteristics of *Athyriumwardii* (Hook.) as a potential phytostabilizer. *JounalofHazardousMaterial. 186, 683-689.*

ANNEXES

➤ **Analyse de la variance des paramètres étudiés (Stat Box 6.5)**

Tableau 1 : Analyse de variance de l'effet de plomb sur la surface foliaire de l'*Atriplex canescens* (Pursh) Nutt (KHEDIM,2019).

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	227,042	14	16,217				
VAR.FACTEUR 1	185,801	4	46,45	11,263	0,00114		
VAR.RESIDUELLE 1	41,241	10	4,124			2,031	27,42%

Tableau 2: Analyse de variance de l'effet de plomb sur la longueur des tiges de l'*Atriplex canescens* (Pursh) Nutt (KHEDIM,2019).

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	7037,733	14	502,695				
VAR.FACTEUR 1	5284,399	4	1321,1	7,535	0,0048		
VAR.RESIDUELLE 1	1753,333	10	175,333			13,241	19,51%

Tableau 3: Analyse de variance de l'effet de plomb sur la longueur des racines de l'*Atriplex canescens* (Pursh) Nutt (KHEDIM,2019).

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	2243,233	14	160,231				
VAR.FACTEUR 1	1418,067	4	354,517	4,296	0,002818		
VAR.RESIDUELLE 1	825,167	10	82,517			9,084	24,98%

Tableau 4: Analyse de variance de l'effet de plomb sur le poids frais de la partie aérienne de l'*Atriplex canescens* (Pursh) Nutt (KHEDIM,2019).

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	6083,92	14	434,566				
VAR.FACTEUR 1	5354,714	4	1338,678	18,358	0,00018		
VAR.RESIDUELLE 1	729,207	10	72,921			8,539	16,14%

Tableau 5: Analyse de variance de l'effet de plomb sur le poids frais de la partie racinaire de l'*Atriplex canescens* (Pursh) Nutt (KHEDIM,2019).

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	19,649	14	1,404				
VAR.FACTEUR 1	14,263	4	3,566	6,619	0,00742		
VAR.RESIDUELLE 1	5,387	10	0,539			0,743	35,06%

Tableau 6: Analyse de variance de l'effet de plomb sur le poids sec de la partie aérienne de l'*Atriplex canescens* (Pursh) Nutt (KHEDIM,2019).

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	490,774	14	35,055				
VAR.FACTEUR 1	446,854	4	111,713	25,436	0,00005		
VAR.RESIDUELLE 1	43,92	10	4,392			2,096	17,51%

Tableau 7: Analyse de variance de l'effet de plomb sur le poids sec de la partie racinaire de l'*Atriplex canescens* (Pursh) Nutt (KHEDIM, 2019).

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	4,609	14	0,329				
VAR.FACTEUR 1	4,249	4	1,062	29,509	0,00003		
VAR.RESIDUELLE 1	0,36	10	0,036			0,19	24,53%

Tableau 8 : Analyse de variance de l'effet combinée de la bentonite et du plomb sur la teneur en chlorophylle a d'*Atriplex canescens* (Pursh) Nutt (OUAINI, 2012).

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	0,164	59	0,003			0,047	35,51%
VAR.FACTEUR 1	0,007	2	0,004	1,668	0,19756		
VAR.FACTEUR 2	0,012	3	0,004	1,842	0,15059		
VAR.INTER F1*2	0,038	6	0,006	2,811	0,01998		
VAR.RESIDUELLE 1	0,107	48	0,006				

Tableau 9 : Analyse de variance de l'effet combinée de la bentonite et du plomb sur la teneur en chlorophylle b d'*Atriplex canescens* (Pursh) Nutt (OUAINI, 2012).

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	0,419	59	0,007			0,076	38,37%
VAR.FACTEUR 1	0,021	2	0,01	1,801	0,1741		
VAR.FACTEUR 2	0,066	3	0,022	3,859	0,01488		
VAR.INTER F1*2	0,057	6	0,01	1,669	0,14848		
VAR.RESIDUELLE 1	0,275	48	0,006				

Tableau 10 : Analyse de variance de l'effet combinée de la bentonite et du plomb sur la teneur en chlorophylle totale d'*Atriplex canescens* (Pursh) Nutt (OUAINI, 2012).

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	1,06	59	0,018			0,12	36,05%
VAR.FACTEUR 1	0,045	2	0,022	1,55	0,22126		
VAR.FACTEUR 2	0,135	3	0,045	3,106	0,03461		
VAR.INTER F1*2	0,184	6	0,031	2,12	0,06766		
VAR.RESIDUELLE 1	0,695	48	0,014				

Tableau 11 : Analyse de variance de l'effet combinée de la bentonite et du plomb sur lateneur relative en eau d'*Atriplex canescens* (Pursh) Nutt (OUAINI, 2012).

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	1778,432	59	30,143			5,823	7,55%
VAR.FACTEUR 1	14,015	2	7,007	0,207	0,81605		
VAR.FACTEUR 2	18,122	3	6,041	0,178	0,91044		
VAR.INTER F1*2	118,792	6	19,799	0,584	0,74306		
VAR.RESIDUELLE 1	1627,503	48	33,906				