



République Algérienne Démocratique et populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Echahid Chikh Laarbi Tébessi - Tébessa

Faculté des sciences exactes et sciences de la nature et de la vie

Département: Biologie Appliquée

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Science de la nature et de la vie

Filière : Science biologiques

Option : Ecophysiologie -végétale

Thème:

L'effet d'Atriplex halimus sur quelque métaux lourds (Cd, Cr, Br) du sol de la région Nord de Tébessa.

Présenté par

M^{elle} AZIZI Ismahéne

M^{elle} ATALLAH wissal

Devant le jury:

Dr. GUENEZ Radja

MCA

Présidente

Université Tébessa

Dr. GHEDDABNIA Karima

MAA

Examinatrice

Université Tébessa

Pr . REZKALLAH .Ch

PR

Promotrice

Université Tébessa

Année universitaire : 2023-2024

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciment

Nous remercions tout d'abord Allah tout puissant de nous avoir donné la force, la volonté et le courage pour réaliser ce mémoire.

Nous tenons à remercier Madame Rezkallah .Ch. notre encadrante de mémoire, pour tout le soutien, l'aide, l'orientation, ainsi que pour ses encouragements lors de la réalisation de ce travail. Je remercie sincèrement Me K, GHEDHABNIA et DR Guenez .R, qui a accepté de présider le jury de ce mémoire.

Nos profonds remerciements vont à tous les enseignants du département, ainsi que les membres de l'administration et du laboratoire.

Sans oublier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de notre travail.

Dédicace

*Avant toute dédicace je tiens à remercier « Allah » le tout puissant qui m'a
donné le courage pour mener ce travail à terme.*

Je dédie ce travail à

L'âme de mon cher père, que Dieu lui fasse miséricorde

*A Ma joie et Ma raison de vivre, ma chère mère, symbole du sacrifice et du
dévouement, qui m'a accompagnée durant tout ce parcours laborieux.*

A mes chers frères saïf edinne, Abderraouf

A tous les membres de ma famille Azizi, Madani

Merci d'être toujours là pour moi

Ismahene

Dédicace

*Alhamdulillah ALLAH, le tout puissant de m'avoir donné courage,
santé et patience pour achever ce travail*

*Je dédie ce modeste travail à Ma très chère mère Quoi que je fasse ou que je dise, je ne
saurai point te remercier comme il se doit. Ton affection me couvre, ta bienveillance me
guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les
différents obstacles.*

*À Mon très cher père Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour l'estime et le
respect que j'ai toujours eu pour toi.*

À mes cher frère Ibrahim et Mouhamed elhadi

*À mes chère sœurs Soundes et Zaineb Pour leurs soutiens moral et leurs conseils
précieux tout au long de mes études merci beaucoup d'être là pour moi*

À Mon fiancé qui a toujours été là à me soutenir et m'encourager Oussama

À ma petite source de joie Bousis

À Tous ceux que j'aime et ceux qui m'aiment.

Wissal

Résumé

Abstract

ملخص

Résumé

Dans ce travail, nous avons étudié l'effet de la plante locale, l'atriplex, sur certains métaux lourds : le chrome, le cadmium, et le brome dans la région nord de la wilaya de Tébessa (Mesloul, Laouinat, Boukhadra). Cette zone se caractérise par sa proximité avec une ancienne zone minière et des niveaux de salinité variables, ce qui en fait un environnement propice à la plante atriplex.

Nous avons effectué une première sortie sur le terrain pour nous familiariser avec la région et avons prélevé neuf échantillons de sol de différents endroits pour tester la teneur en métaux lourds. Lors de la deuxième sortie, nous avons prélevé quatre échantillons de sol autour des racines de la plante atriplex dans quatre zones différentes pour analyser la teneur en métaux lourds et la comparer avec le sol dépourvu de plantes dans la même région.

Les échantillons ont été analysés au laboratoire de géologie de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'Université Sheikh Al-Arabi Tebessi. Nous avons mesuré les concentrations de chrome, de cadmium et de brome dans le sol des deux sorties et les avons comparées entre elles ainsi qu'aux normes autorisées par l'Organisation Mondiale de la Santé.

Les résultats ont montré que les concentrations de métaux lourds—cadmium, chrome, et brome—étaient élevées dans la première zone d'étude (Mesloul, Oued Chabrou, et Morsott) par rapport aux normes de l'Organisation Mondiale de la Santé. Par conséquent, nous avons choisi ces endroits pour la deuxième zone d'échantillonnage. Cette augmentation pourrait être due soit à des facteurs naturels (nature du sol) soit à des activités humaines (industrielles, agricoles, etc.), ce qui peut entraîner des niveaux de pollution anormaux dans le sol. Comment pouvons-nous atténuer ou réduire cette pollution ?

L'étude a confirmé que la plante locale atriplex a considérablement contribué à l'absorption des métaux lourds dans la région, réduisant ainsi la pollution du sol. Cette plante aide les agriculteurs touchés en rendant le sol plus arable et fertile, ce qui conduit à des rendements plus élevés.

Mots-clés: Atriplex halimus _ sol _ nord de Tébessa _ vignes _ cadmium _ brome

Abstract

In this work, the effect of the local saltbush plant on some heavy metals—chromium, cadmium, and bromine—was studied in the northern region of Tébessa province (Mesloul, Laouinat, Boukhadra). This area is characterized by its proximity to an old mining zone and varying salinity levels, making it a suitable environment for the saltbush plant.

We conducted an initial field trip to familiarize ourselves with the area and collected nine soil samples from different locations to test the heavy metal content. During the second trip, we collected four soil samples from the surroundings of the saltbush roots in four different areas to analyze the heavy metal content and compare it with the soil devoid of plants in the same area.

The samples were analyzed in the geology laboratory of the Faculty of Natural and Life Sciences at Sheikh Al-Arabi Tebessi University. We measured the concentrations of chromium, cadmium, and bromine in the soil from both field trips and compared them with each other and with the permissible standards set by the World Health Organization.

The results showed that the concentrations of heavy metals—cadmium, chromium, and bromine—were high in the first study area (Mesloul, Wadi Chabrou, and Morsott) compared to the World Health Organization standards. Therefore, we chose these locations for the second sampling area. This increase could be attributed either to natural factors (soil nature) or human activities (industrial, agricultural, etc.), which may lead to abnormal pollution levels in the soil. How can we mitigate or reduce this pollution?

The study confirmed that the local saltbush plant significantly contributed to absorbing heavy metals in the area, thereby reducing soil pollution. This plant helps affected farmers by making the soil more arable and fertile, leading to higher yields.

Keywords: *Atriplex halimus* _ soil _ north of Tébessa _ vineyards _ cadmium _ bromine

ملخص الدراسة

في هذا العمل تم دراسة تأثير نبات القطف المحلي على بعض المعادن الثقيلة الكروم الكاديوميوم والبروم لمنطقة شمال ولاية تبسة (مسلولة لعوينات بوخضرة) التي تمتاز بكونها قرب منطقة منجمية قديمة و نسبة الملوحة فيها متفاوتة وهي البيئة المناسبة لنبته القطف.

حيث قمنا بالخروج ميدانيا مرة اولى للتعرف على المنطقة و اخذنا 9 عينات لتربة من اماكن مختلفة لفحص نسبة المعادن الثقيلة و الخرجة الثانية أخذنا 4 عينات التربة المحيطة بجذور نبتة القطف لاربعة مناطق مختلفة لتحليل نسبة المعادن الثقيلة و مقارنتها بالتربة خالية من النبات في نفس المنطقة.

تم تحليل العينات في مخبر الجيولوجيا كلية علوم الطبيعة و الحياة جامعة الشيخ العربي التبسي حيث تم قياس تراكيز كل من الكروم الكاديوميوم و البروم في التربة في الخرجة الاولى و الثانية و مقارنتهما ببعضهما و بمعايير منظمة الصحة العالمية المسموح بها.

أظهرت النتائج أن نسبة المعادن الثقيلة الكاديوميوم و الكروم و ايضا البروم مرتفعة في منطقة الدراسة الأولى في جهة مسلولة واد شبرو و مرسط مقارنة بمعايير منظمة الصحة العالمية لذلك اخترنا هذه الاماكن لأخذ عينات المنطقة الثانية و هذا راجع لمنجمية المنطقة المهجورة اي قد يعود سبب الارتفاع إما لعوامل طبيعية (طبيعة التربة) او الى النشاطات الانسانية (الصناعية؛ الفلاحية ...) وقد يسبب الارتفاع الغير طبيعي تلوث في التربة فكيف يمكننا الحد او التقليل من هذا التلوث ؟

تم من خلال الدراسة تأكيد أن نبتة القطف المحلي ساهمت بشكل كبير في إمتصاص المعادن الثقيلة في المنطقة و منه تقليل نسبة التلوث في التربة فإن هذه النبتة تساهم في مساعدة الفلاحين المتضررين بجعل التربة زراعية و أكثر خصوبة و بالتالي المساعدة على إعطاء مردود أكبر.

الكلمات المفتاحية: نبات القطف المحلي _ التربة _ شمال تبسة _ كروم _ كاديوميوم _ بروم

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
<i>1</i>	classification de plante Atriplex halimus	9
<i>2</i>	variations de Précipitations et de températures mensuelle 2023 /2024	20
<i>3</i>	Résultats d'analyses du sol de la zone d'étude	26
<i>4</i>	Analyse de la variance de L'effet d'Atriplex sur le taux de Cd de la solution du sol	31
<i>5</i>	Analyse de la variance de L'effet d'Atriplex sur le taux de Cr de la solution du sol	32
<i>6</i>	Analyse de la variance de L'effet d'Atriplex sur le taux de Br de la solution du sol	34
<i>7</i>	Analyse de la variance de L'effet d'Atriplex sur le taux de I de la solution du sol	35

Liste des Figures

Liste des Figures

Figure	Titre	Page
1	Photos de la parcelle de la région d'étude	18
2	Variations des Températures de L'année 2023 / 2024	19
3	Variations des précipitations de L'année 2023 / 2024	20
4	Photo d'échantillonnages de sol	22
5	Photo d' Atriplex halimus	23
6	Multi-parameter Photometer HI 83200 (HANNA instrument	24
7	l'Effet d' Atriplex sur le cadmium du sol de la région d'étude	32
8	l'effet d' Atriplex sur le chrome du sol de la région d'étude	33
9	l'effet d' Atriplex sur le brome du sol de la région d'étude	35
10	l'effet d' Atriplex sur l'iode du sol de la région d'étude	36

Liste des Cartes

Liste des Cartes

Carte	Titre	Page
1	Carte topographique de la région d'étude	18
2	Carte d'échantillonnage du sol de la région d'étude	21
3	Carte d'échantillonnages du sol dans la région d'étude planté par d'Atriplex	22
4	Concentration de cadmium dans le sol de la région étudié	27
5	Concentration de chrome dans le sol de la région étudié	28
6	Concentration de brome dans le sol de la région étudié	29
7	Concentration de l'iode dans le sol de la région étudié	30

Table des Matières

Table des Matières

Titre	Page
<i>Remerciements</i>	
<i>Dedicace</i>	
<i>ملخص</i>	
<i>Abstract</i>	
<i>Résumé</i>	
<i>Table des matières</i>	I
<i>Introduction</i>	1
CHAPITRE I: Recherche Bibliographique	
<i>1. Les métaux lourds du sol</i>	3
<i>1.1. Définition</i>	4
<i>1.2 L'origine des métaux lourds</i>	3
<i>1.2.1 L'origine naturelles</i>	3
<i>1.2.2 L'origine anthropiques</i>	4
<i>1.3 Les caractéristiques des métaux lourds</i>	4
<i>1.3.1 Le cadmium</i>	4
<i>1.3.2. Le Chrome</i>	5
<i>1.3.3. Le brome</i>	5
<i>1.3.4. L'iode</i>	5
<i>1.4. Contamination et les effets des métaux lourds</i>	6
<i>1.4.1 Sur l'environnement</i>	6
<i>2. les halophytes</i>	6
<i>2.1. Flore halophyte et sa place dans le règne végétale</i>	7
<i>2.2. Une sensibilité différente suivant les végétale</i>	7

Table des Matières

3. Généralité sur l' <i>Atriplex halimus</i>	7
3.1. Origine et diffusion	8
3.2. Ecologie de l' <i>Atriplex</i>	8
3.3. Répartition dans le monde	8
3.4. Présentation d' <i>Atriplex Halimus</i>	9
3.4.1. Classification d' <i>Atriplex Halimus</i>	9
3.4.2. Origine d' <i>Atriolex Halimus</i>	9
3.4.3. Description d' <i>Atriplex Halimus</i>	9
3.4.4. Valeur fourragère	10
3.4.5. Intérêts économique écologiques des <i>Atriplex</i>	10
4. Effet de toxicité des métaux lourds sur la plante.....	11
5. Effet de toxicité des métaux lourds sur les halophytes.....	12
6. Effet de toxicité des métaux lourds sur l' <i>Atriplex halimus</i>	13
7. La phyto-purification des métaux lourds par la plante.....	13
8. La phyto-purification des métaux lourds par les halophytes.....	14
9. La phyto-purification des métaux lourds par l' <i>Atriplex halimus</i>	15
Chapitre II: Matériel et Méthodes	
1. Description de la zone d'étude.....	18
1.1. Situation géographique	18
2. Paramètres climatologiques.....	18
2.1. La température.....	19
2.2. La précipitation	19
3. L'échantillonnage.....	21
4. Paramètres étudiés.....	24

Table des Matières

5. Etude statistique des données	24
CHAPITRE III: Résultats et Discussion	
1. Identification du Terrain	26
1. Les pourcentage de quelque metaux lourd du sol de la région nord de Tébessa	26
1.1. Les pourcentage de Cadmium du sol de la région nord de Tébessa	26
1.2. Les pourcentage de chrome du sol de la région nord de Tébessa...	27
1.3. Les pourcentage de brome du sol de la région nord de Tébessa	29
1.4. Les pourcentage de iode du sol de la région nord de Tébessa	30
2. L'effet d'Atriplex sur quelque metaux lourd du sol de la region nord de Tébessa	31
2.1. L'effet d'Atriplex sur le Cadmium du sol de la region nord de Tébessa	31
2.2. L'effet d'Atriplex sur le chrome du sol de la region nord de Tébessa	32
2.3. L'effet d'Atriplex sur le brome du sol de la region nord de Tébessa	34
2.4. L'effet d'Atriplex sur l'iode du sol de la region nord de Tébessa	35
Conclusion	38
Références Bibliographiques	40
Annexes	49

Introduction

Introduction

La région nord de Tébessa, connue pour son activité industrielle et minière, présente des concentrations élevées de métaux lourds dans le sol. L'étude de l'efficacité d'*Atriplex halimus* dans cette région pourrait offrir des solutions pratiques et durables pour la gestion des sols contaminés, contribuant ainsi à la protection de l'environnement et à la santé publique locale. (Benyounes et al, 2019).

La pollution par les métaux lourds est un problème environnemental majeur, menaçant la santé humaine et les écosystèmes. Les activités industrielles, agricoles et minières contribuent largement à l'augmentation des concentrations de métaux lourds dans le sol et l'eau, posant des risques éco toxicologiques significatifs. Dans ce contexte, la phyto purification, l'utilisation de plantes pour extraire, stabiliser ou dégrader les polluants, apparaît comme une solution prometteuse et respectueuse de l'environnement. (Alloway, B. J. 2013).

Atriplex halimus, une plante halophyte des régions arides et semi-arides, présente un intérêt particulier pour la phyto purification en raison de sa capacité à tolérer et accumuler divers métaux lourds. Des études ont montré que cette plante peut absorber et stabiliser des éléments toxiques tels que le cadmium, le chrome, et d'autres métaux lourds, réduisant ainsi leur disponibilité et leur toxicité dans l'environnement (Boularbah et al, 2006).

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer l'effet de *Atriplex halimus* sur la concentration et la distribution de certains métaux lourds (brome, chrome, cadmium) dans la région nord de Tébessa. Plus spécifiquement, cette recherche vise à : Quantifier les niveaux de métaux lourds dans le sol avant et après l'introduction de *Atriplex halimus*. Analyser la capacité de cette plante à accumuler ces métaux dans ses tissus. Évaluer les changements dans la disponibilité des métaux lourds pour l'environnement après phytoremédiation.

Afin de tenter de répondre à notre objectif, les chapitres suivants seront traités :

- ✓ Recherche bibliographique
- ✓ Matériels et méthodes;
- ✓ Analyses et descriptions des résultats;
- ✓ Conclusion générale.

Chapitre I:

Recherche Bibliographique

1. Les métaux lourds du sol

1.1. Définition

D'un point de vue physique, le terme « métaux lourds » désigne les éléments métalliques naturels, métaux ou dans certains cas métalloïdes (environ 65 éléments), caractérisés par une forte masse volumique supérieure à 5 g.cm³ (Adriano, 2001), Certains peuvent devenir toxiques lorsque la concentration dépasse un certain seuil. (-ThiMy Dung HUYNH 2009).

Dans le cadre de chimie, les métaux lourds sont généralement définis sur la base de leurs propriétés physico-chimiques. En science du sol, il est convenu de parler "d'éléments trace métalliques" qui désignent des composés minérales présents à très faible concentration. En toxicologie, ils peuvent être définis comme des métaux à caractère cumulatif (souvent dans les tissus biologiques) ayant essentiellement des effets très néfastes sur les organismes vivants. En nutrition et en agronomie, ils peuvent même être assimilés à des oligo-éléments indispensables à certains organismes, en particulier par leur action catalytique au niveau du métabolisme. (La synthèse de L'ASEF, 2007).

1.2 L'origine des métaux lourds

1.2.1 L'origine naturelles

- Les gisements de métaux lourds:

Les métaux lourds se retrouvent dans tous les compartiments de l'environnement. Selon les métaux ,les réserves les plus importantes se trouvent dans les roches et/ou sédiment océaniques On estime le gisement de mercure à 300 milliard de tonnes dont 99% se trouvent dans les sédiments océaniques . (Adriano, D. C. 2001)

En règle générale, les métaux sont fixés dans les roches sous deux formes :

1) les oxydes et silicates, peu altérables en climat tempéré. Les oxydes sont libérés de la roche par érosion et transportés tels quels dans les sols et sédiments.(Girard et al, 2005)

2) les sulfures et carbonates, très altérables, qui seront attaqués chimiquement. Les métaux changeront de support. Une partie soluble sera évacuée avec l'eau, vers les sols, les sédiments ou la nappe phréatique. Une partie sera piégée dans les argiles et sédiments de ruisseau.(Girard et al, 2011)

- Le passage du minerai au contaminant

-L'exploitation (les mines) et l'utilisation

-l'érosion qui transporte les métaux vers les sols, les eaux de surface et les sédiments. (Adriano, D. C. 2001).

Chapitre I : Recherche Bibliographique

- Les prélèvements d'eau En puisant dans des nappes phréatiques de plus en plus profondes on peut tomber sur une nappe contaminée par roche très chargée en métaux lourds. Cette de mobilisation des métaux lourds est la moins connue, mais aujourd'hui l'une des plus fréquentes. (Ahmed, K. M., et al, 2004)
- les éruptions volcaniques terrestres ou sous-marines. On estime que les volcans libèrent en moyenne annuelle dans le monde, de 800 à 1.400 tonnes de cadmium, 18.800 à 27.000 tonnes de cuivre, 3.200 à 4.200 tonnes de plomb, et 1.000 tonnes de mercure dans l'atmosphère. (Rose, J. 2006)

1.2.2 L'origine anthropiques

- L'activité humaine n'a apporté aucun changement dans les volumes de métaux lourds. Il n'y a ni création, ni suppression. Elle a surtout changé la répartition des métaux, les formes chimiques (ou spéciations) et les concentrations par l'introduction de nouveaux modes de dispersion (fumées, égouts, voitures...). Si une partie des métaux lourds part directement dans le sol et les eaux, l'essentiel est d'abord émis dans l'atmosphère avant de rejoindre les deux autres éléments. (Pacyna, E. G, 2009).
- Rejets atmosphériques: Les émissions atmosphériques de métaux lourds ont diminué de 50 % entre 1990 et 1998 passant de 7.356 tonnes à 3.336 tonnes en 1998, dont près de la moitié pour le zinc, et un peu plus du tiers pour Pb, Hg, Cd. (Nriagu, J. O. 1990).
- Les procédés thermiques : Sidérurgie, métallurgie, incinérateurs, centrales thermiques, transport... (Nriagu, J. O., et Pacyna, J. M. 1988)

1.3 Les caractéristiques des métaux lourds

1.3.1 Le Cadmium:

Le cadmium est un élément chimique de symbole Cd et de numéro atomique 48. C'est un métal mou, malléable et ductile, de couleur blanc-bleuâtre. Le cadmium se trouve principalement sous forme de minerai de sulfure de cadmium, généralement en association avec le zinc, le plomb et le cuivre. Il est souvent récupéré comme sous-produit du raffinage de ces métaux. Les sources naturelles de cadmium incluent les éruptions volcaniques et l'altération des roches contenant du cadmium. Les sources anthropiques, quant à elles, proviennent principalement des activités industrielles telles que la métallurgie, la fabrication de batteries, les pigments, les revêtements métalliques et les alliages. Utilisé principalement dans les batteries rechargeables, les pigments, les revêtements métalliques et les alliages, le cadmium est un élément toxique et cancérigène, ce qui nécessite une gestion rigoureuse de

Chapitre I : Recherche Bibliographique

son utilisation et de son élimination pour éviter les risques pour la santé humaine et l'environnement. (Lenntech ,2023)

1.3.2. Le Chrome

Le chrome est un élément chimique de symbole Cr et de numéro atomique 24. Il s'agit d'un métal de transition dur, de couleur gris acier, connu pour sa résistance à la corrosion et son utilisation dans les alliages métalliques. Le chrome se trouve principalement sous forme de chromite (FeCr_2O_4), associée à des roches ultramafiques. Les sources naturelles de chrome comprennent l'altération des roches riches en minéraux chromifères et les éruptions volcaniques. Les activités humaines contribuent significativement à la présence de chrome dans l'environnement, notamment par le biais de la métallurgie, la fabrication d'acier inoxydable, les pigments, le tannage du cuir, et les traitements de surface. La gestion de ce métal est cruciale, car le chrome hexavalent (Cr(VI)), une forme toxique et cancérogène, pose des risques majeurs pour la santé et l'environnement. (U.S. Geological Survey - 2023, 2024)

1.3.3. Le Brome

Le brome est un élément chimique qui peut être présent dans le sol sous forme d'ions bromure (Br^-) ou d'autres composés bromés. Il est généralement considéré comme un élément trace dans le sol en raison de sa faible concentration. Le brome est un halogène, appartenant à la même famille chimique que le chlore, le fluor et l'iode. (Kabata-Pendias, Pendias. 2001)

Bien que le brome ne soit pas aussi étudié que d'autres éléments traces du sol, il peut avoir des effets sur la croissance des plantes et sur les processus biologiques dans le sol. Par exemple, il peut être toxique pour les plantes à des concentrations élevées, et il peut également interagir avec d'autres éléments dans le sol pour former des composés organiques ou inorganiques.(Alloway, 2013)

La présence de brome dans le sol peut être influencée par divers facteurs, notamment les activités humaines telles que l'utilisation de fertilisants, les émissions industrielles et les pratiques agricoles. Il peut également être naturellement présent dans le sol en raison de processus géologiques et de la décomposition de la matière organique. (Kabata-Pendias ; Pendias. 2001)

En résumé, le brome dans le sol est un élément trace qui peut avoir des implications pour la santé des plantes et des sols, bien que sa recherche et sa compréhension spécifiques soient moins étendues que celles d'autres éléments plus couramment étudiés.

1.3.4 L'iode

L'iode est un élément chimique de symbole I et de numéro atomique 53. C'est un halogène, se trouvant principalement sous forme de sels dissous dans l'eau de mer et sous forme de composés dans certains minéraux et sols. L'iode est essentiel pour la santé humaine,

Chapitre I : Recherche Bibliographique

car il est nécessaire à la production des hormones thyroïdiennes, qui régulent le métabolisme. Il est souvent ajouté au sel de table pour prévenir les carences, qui peuvent causer des troubles comme le goitre et l'hypothyroïdie. (World health organization, 2004)

Selon Robert T. T. Forman (2009) L'iode est un élément chimique naturellement présent dans l'environnement, principalement dans les océans et le sol.

1.4. Contaminations et les effets des métaux lourds

1.4.1. Sur l'environnement:

➤ Le sol:

Par ailleurs, les métaux lourds dans les sols existent dans plusieurs fractions de la phase solide, qui peuvent être mesurées par dissolution séquentielle sélective. (Tessier, 1979)

Selon Baize (1997) la contamination d'un milieu par les métaux lourds de signe une augmentation des teneurs totales de ces éléments dans le milieu suite à des apports anthropiques importants. Selon Akujobi (2012), les métaux lourds constituent de sérieux polluants environnementaux, en particulier dans les zones à haute pression anthropique ; leur présence dans l'atmosphère, le sol et l'eau, même sous forme de traces, peut causer de:

Graves problèmes à tous les organismes. L'accumulation de métaux lourds dans les sols est une préoccupation en production agricole en raison de leurs effets néfastes sur la croissance des cultures, la qualité des produits alimentaires et la santé de l'environnement. (Costa, 2001)

Selon Lee et al, (2001), l'exploitation minière est l'une des plus importantes sources de métaux lourds dans l'environnement.

Les métaux (cuivre, plomb, nickel, etc.) ou métalloïdes (bore, arsenic, etc.) sont naturellement présents dans les sols. De fortes concentrations en chrome, nickel et zinc apparaissent dans les sols développés dans des roches jurassiques, tandis que pour le plomb, elles sont liées aux roches cristallines. Les roches volcaniques donnent lieu à de fortes concentrations en chrome, cuivre, nickel et zinc.

2. Les halophytes:

Venant du grec halos (sel) et phyton (plante), le terme d'halophyte a été introduit en 1809 par pierre Simon Pallas et attribué au végétaux vivants sur des sols salés, c'est-à-dire contenant une solution trop riche en sels solubles et par là impropres à recevoir des cultures.

En fait, actuellement on appelle halophytes toute plante dont une partie quelconque de son organisme, est en contact avec des concentrations anormalement fortes de sel, c'est le cas de la végétation marine ; des plantes de bords de marais ou de lacs salés. (Larafa, 2004)

Chapitre I : Recherche Bibliographique

Par suite de leur localisation a des régimes de salinité bien définis, la halophytes se répartissent en groupements disposés en zones, autour de dépression salées continentales ou en bordure des rivages maritimes. (Lemee, 1978)

D'une manière rigoureuse, « halophytes » n'est pas synonyme de « plante halophile » qui étymologiquement signifie « plante aimant le sel ».

2.1. Flore halophyte et sa place dans le règne végétale

Il y a à peu près 6000 espèces d'halophytes terrestres et de marais dans le monde, soit 2% des phanérogames(Le Houérou, 1993). La région sous climat méditerranéen, de l'océan atlantique à la mer Aral et la Vallée Indienne, compte 1100 espèces, environ 5% de sa flore terrestre (Le Houérou, 1993). Environ 1/4 des halophytes du monde sont des chénopodiacées, 1/10 graminées, 1/20 légumineuses, 1/25 composées et plumbaginacées, 1/33 aizoacées et cypéracées, 1/50 tamaricacées et zygophylacées Etc.... (Aharonson et al, 1969).

Les familles d'halophytes et leurs richesses en genres et espèces sont montrées dans le tableau 1: Quelques 70% de ces espèces sont pérennes et 30% annuelles ou bisannuelles (Le Houérou 1959, 1969, 1986,1993 & le Houérou et al, 1975).

Quelques-uns sont des arbres (exemple : Tamarix), beaucoup sont des arbustes, dont les plus remarquables sont des chamaephytes (Salsola, Salicornia, Suaeda et Atriplex).

Les pérennes incluent également des hémicryptophytes, en particulier (Sporobolus, Aelurops, Puccinellia, Ammophiia, ArenariaetAgropyron).

Les espèces annuelles les plus communes sont les suivantes : Hordeummurinum, Polypogonmaritimum, Aizooncanariense, Frankeniaspp. Spergulariaspp ... et Pour la plupart ce sont des espèces herbacées.

2.2. Une sensibilité différente suivant les végétaux

Nous avons souligné, toutes les plantes ne sont pas égales face à stress salin. Suivant leur production de biomasse en présence de sel, quatre grandes tendances ont été discernées

- **Les Halophytes vraies**, dont la production de biomasse est stimulée par la présence de sel. Ces plantes présentent des adaptations poussées et sont naturellement favorisées par ces conditions par exemple le cas de Suadamaritima.
- **Les Halophytes facultatives**, montrant une légère augmentation de la biomasse à de teneurs faibles en sel : Plantagomaritima, Aster tripolium.
- **Les Non-Halophytes résistantes**, supportant de faibles concentrations en sel Hordeumsp.
- **Les Glycophytes ou Halophobes**, sensibles à la présence de sel : Phaseolusvulgaris.

Chapitre I : Recherche Bibliographique

3. Généralités sur l'Atriplex

Les Atriplex font partie des halophytes qui sont étudiés pour devenir éventuellement des plantes cultivées, elles s'acclimatent à toutes sortes de conditions et elles sont utiles pour freiner l'érosion. Les Atriplex poussent aussi bien dans des sols non salins que fortement salins et sont ainsi des halophytes facultatives. (Le Houerou, 1992)

3.1. Origine et diffusion

Le genre Atriplex est le plus grand et le plus diversifié de la famille des Chenopodiaceae et compte environ 200 espèces réparties dans les régions tempérées et subtropicales; on trouve également des exemplaires de ce genre dans les régions polaires, bien qu'en nombre très réduit.

Généralement, il est associé aux sols salins ou alcalins et aux milieux arides, désertiques ou semi-désertiques. (Rosas, 1989; Par-Smith, 1982)

Il comprend surtout des plantes herbacées vivaces et, plus rarement, des arbres et des arbustes. Les espèces appartenant à cette famille sont halophytes. Elles sont donc en mesure de vivre sur des sols au taux élevé de sels inorganiques. Souvent, il s'agit de composants dominants des marécages salés et, vu que les sols salins sont typiques des milieux arides, de nombreuses espèces présentent également des adaptations xérophytiques.

Les Chenopodiaceae sont largement répandues dans les habitats salins tempérés et subtropicaux, en particulier dans les régions littorales de la Mer Méditerranéenne, de la Mer Caspienne et de la Mer Rouge, dans les steppes arides de l'Asie centrale et orientale (Leigh et al., 1984), aux marges du désert du Sahara, dans les prairies alcalines des Etats-Unis, dans le Karoo en Afrique méridionale, en Australie, et dans les Pampas argentines.

Les Atriplex sont bio climatiquement assez flexibles, puisqu'on trouve certaines espèces à presque toutes les latitudes, en particulier entre la latitude 70° Nord et la latitude 46° Sud (Allen et Hulone, 1964, Troughton et al, 1974).

Elles poussent également comme des herbacées sur les sols riches en sel des zones habitées, surtout en présence d'écoulements d'eau et de terrains accidentés.

3.2. Ecologie de l'Atriplex

Les halophytes provenant de toutes les parties du monde (Raven. 2007), l'Atriplex halimus. L. Est un arbuste natif d'Afrique du Nord où il est très abondant, il s'étend également aux zones littorales méditerranéennes de l'Europe et aux terres intérieures gypso salines. Selon Pottier (1979). A. halimus se développe sur les sols sableux et les terrains argilo-calcaires salés. A. nummularia cultivé dans tous les pays de l'Afrique du Nord, et du Moyen Orient, en Espagne (Duthil. 1973) originaire d'Australie, a été introduite en Afrique, en Italie et en Grèce. (Ernest. 1981)

Chapitre I : Recherche Bibliographique

3.3. Répartition dans le monde

Il existe plus de 400 espèces de genre *Atriplex* distribuées à travers le monde principalement dans les zones tempérées, subtropicales et méditerranées (Franclet et le Houérou, 1971) entre une latitude 20" et 50". (Osmond et al, in Houérou, 1992)

Le Houérou (1996) a opté pour une répartition d'ordre bioclimatique selon les étages. Il a constaté que les espèces du genre *Atriplex* sont localisées généralement dans les régions arides qui peuvent atteindre l'étage humide, exemple : *A. halimus* subsp *halimus*, *A. portulacoides* subsp *lavis*; et d'autres qui se trouvent même en climat hyper- aride, mais sous irrigation ou en présence d'une nappe phréatique peu profonde exemple : *A. coriacea*. Le nombre approximatif d'espèces d'*Atriplex* dans divers régions du monde est présente dans le tableau 4 (Quezel et Santa, 1962), *Atriplex halimus*, est la plante autochtone la plus représentée sur le pourtour méditerranéen elle est classée en seconde position après l'espèce australienne *A. nummularia* pour la superficie occupée. (Le Houéro 2000; Martinez et al, 2003 in Nedjimi 2010)

3.4. Présentation d'*Atriplex Halimus*

3.4.1. Classification d'*Atriplex Halimus*

Tableau 1: classification de plante *Atriplex halimus* (Benmansour, 2014).

Règne	Plante
Sous-règne	Tracheobionta
Division	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsoda
Sous-classe	Caryophyllidae
Ordre	Caryophyllales
Famille	Chénopodiaceae
Genre	<i>Atriplex</i>
Espèce	<i>Atriplex halimus</i>

3.4.2. Origine d'Atriplex Halimus

Plante originaire du sud de L'Europe, c'est une espèce spontanée occupant de vastes aires dans les pays du Nord-africain et du Proche et Moyen-Orient. Elle se trouve également dans certains pays européens tels que ceux de la région méditerranéenne (HCDS.1996).

3.4.3. Description d'Atriplex Halimus

C'est un arbuste qui se développe en touffe très dense ayant un aspect blanc argenté. Les rameaux, dressés, portent des feuilles alternées et assez grandes. Les fleurs monoïques, de couleur jaunâtre, sont réunies en épis (HCDS.1996).

3.4.4. Valeur fourragère

La valeur fourragère de l'Atriplex halimus a été estimée par SchmidsBurr, en 1972 à Ouasseltia (Tunisie), à 0,56 UF/kg MS. Celle donnée par (Le Houérou et al, 1983), varie de 0,25 à 0,30 UF/kg MS. Sa teneur en protéine brute varie de 12 à 18 % par kilo-gramme de matière sèche. Ces valeurs font des Atriplex d'excellents aliments du complément pour les rations pauvres en protéine. Un mouton put consommer jusqu'à 2 kg MS/j et parfois plus.

3.4.5. Intérêts économiques et écologiques des Atriplex

Les plantations d'arbustes halophytes constituent un investissement à moyen et à long terme et une richesse renouvelable. Les halophytes constituent une source additionnelle de fourrage, de médecines et d'huiles sur la terre irriguée avec l'eau de mer en plantant et en augmentant le rendement biologique de pâturages dégradés dans des zones arides (CHRIYA A et El MZOURI, 1999).

L'Atriplex ont été employée comme ressource pour le bétail et la faune domestiques. Elles ont été intensivement employées comme réserves alimentaires pendant les périodes de pénurie (sécheresse et périodes froides) et comme ressource supplémentaire de fourrage dans les pays arides et semi-arides (ARIF et al, 1994 ; TIEDEMAN et CHOUKI, 1989).

De nombreuses études ont mis en évidence le fait qu'en associant la culture de l'orge aux arbustes fourragers appartenant au genre Atriplex, la production de céréales a augmenté de 25%; de plus, le bétail peut éventuellement brouter les chaumes d'orge et les arbustes d'Atriplex en été et en automne (Le HOUEROU, 1980a; BRANDLE, 1987; ORTÍZ-DORDA et al, 2005).

L'aspect écologique est que quelques espèces d'halophytes peuvent accumuler jusqu'à 35-40% de sels dans leurs organes sans endommager leurs fonctions essentielles normales. En d'autres termes, quand elles sont moissonnées ou broutées annuellement, une grande quantité de sels est aussi bien enlevée et elles réduisent de manière significative le degré de

Chapitre I : Recherche Bibliographique

salinité des sols, de ce fait, elles améliorent leur état écologique (AHMED et GOODIN, 1970).

Les arbustes fourragers constituent un facteur de protection de l'environnement contre l'érosion hydraulique et éolienne, pour la fixation du sol et des dunes, pour la réhabilitation et la réadaptation des terres dégradées (dunes de sable, sols de saline/alcaline, perte de mine, badlands, sols peu profonds, etc.), et pour la conservation des eaux... elles permettent le recyclage des éléments, le maintien et l'amélioration de la fertilité des milieux et des sols.

Des données également obtenu à partir de recherches pour la lutte contre la désertification effectuées en Afrique Australe, où *Atriplex nummularia* et *A. halimus* ont fourni les meilleurs résultats par rapport à de nombreuses espèces arbustives testées; *A. undulata* et *A. breweri* ont elles aussi suscité un grand intérêt. Les arbustes peuvent valoriser des terres marginales inutilisables en agriculture traditionnelle (terres salées,...). Elle participe ainsi pour la protection de la faune et servent comme des réserves de chasse en permettant la stabilisation de l'écosystème et l'aptitude d'assurer une remontée biologique. (FRANCLET et Le HOUEROU, 1971; DUTUIT et al, 1991; CHOUKR- ALLAH et al, 1996; VAN HEERDEN et al, 2000).

4. Effet de toxicité des métaux lourds sur la plante

Les métaux lourds sont des éléments chimiques qui peuvent avoir des effets toxiques sur les plantes lorsqu'ils sont présents en concentrations élevées dans le sol ou dans l'eau d'irrigation.

Voici quelques-uns des effets les plus courants de la toxicité des métaux lourds sur les plantes

- **Inhibition de la croissance** : Des études telles que celles menées par Shahid et al. (2017) ont montré que des concentrations élevées de métaux lourds comme le cadmium et le plomb peuvent inhiber la croissance des plantes en perturbant la division cellulaire et d'autres processus métaboliques.
- **Réduction de la photosynthèse** : Des recherches menées par Pandey et al. (2016) ont démontré que le cadmium et d'autres métaux lourds peuvent induire des dommages aux chloroplastes, ce qui réduit l'efficacité de la photosynthèse et limite la production de biomasse chez les plantes.
- **Stress oxydatif** : Des études telles que celles de Gill et Tuteja (2010) ont examiné comment les métaux lourds peuvent provoquer un stress oxydatif dans les plantes en augmentant la production de radicaux libres, ce qui endommage les membranes cellulaires et les composants cellulaires essentiels.
- **Perturbation de l'absorption des nutriments** : Selon Shan et al. (2017), la présence de métaux lourds dans le sol peut interférer avec l'absorption des nutriments par les

Chapitre I : Recherche Bibliographique

plantes en compétition avec les ions nutritifs essentiels pour les sites de liaison sur les racines.

- **Accumulation dans les tissus végétaux :** Des recherches menées par Wang et al. (2016) ont montré que les plantes peuvent absorber et accumuler des métaux lourds dans leurs tissus, ce qui peut présenter un risque pour la santé humaine et animale lorsqu'elles sont consommées.
- **Altération de la structure du sol :** Des études comme celles de Kabata (2010) ont examiné comment l'accumulation de métaux lourds dans le sol peut altérer sa structure et sa fertilité, ce qui peut compromettre la croissance des plantes à long terme.

5. Effet de toxicité des métaux lourds sur les halophytes

Les halophytes sont des plantes capables de survivre et de prospérer dans des environnements riches en sel, tels que les marais salants côtiers et les sols salés. Ces plantes ont développé des mécanismes uniques pour tolérer les conditions salines, mais elles peuvent également être confrontées à la présence de métaux lourds dans leur environnement, ce qui peut avoir des effets toxiques sur leur croissance et leur développement.

Voici quelques-uns des effets de la toxicité des métaux lourds sur les halophytes :

- **Altération de la croissance et du développement :** Les métaux lourds peuvent inhiber la croissance des halophytes en perturbant leur métabolisme et en interférant avec des processus vitaux tels que la photosynthèse, la respiration et la division cellulaire. (Abdel Latef et al, 2016).
- **Accumulation de métaux lourds :** Les halophytes ont la capacité d'absorber et d'accumuler des métaux lourds dans leurs tissus, ce qui peut entraîner des concentrations toxiques dans la plante elle-même et potentiellement dans les organismes qui la consomment. (Chen et al, 2018)
- **Stress oxydatif :** Les métaux lourds peuvent induire un stress oxydatif chez les halophytes en augmentant la production de radicaux libres, ce qui peut endommager les membranes cellulaires, les protéines et l'ADN. (Asgher et al, 2014).
- **Perturbation de l'homéostasie ionique :** Les métaux lourds peuvent perturber l'homéostasie ionique des halophytes en interférant avec l'absorption et le transport des ions essentiels, tels que le sodium, le potassium et le calcium. (Zandalinas et al, 2020)
- **Réduction de la biodiversité :** La présence de métaux lourds dans les habitats des halophytes peut réduire la diversité des espèces végétales et animales associées, ce qui peut avoir des répercussions sur l'écosystème dans son ensemble. (Yang et al, 2005)

- **Altération de la physiologie cellulaire** : Les métaux lourds peuvent altérer la physiologie cellulaire des halophytes en perturbant les processus biochimiques et en endommageant les organites cellulaires, ce qui peut compromettre la santé et la survie de la plante. (Niazi et al, 2014)

En résumé, la toxicité des métaux lourds peut avoir des effets néfastes sur les halophytes en perturbant leur croissance, leur développement, leur physiologie et leur interaction avec leur environnement. Les halophytes ont développé divers mécanismes pour tolérer les conditions environnementales extrêmes, mais la présence de métaux lourds peut représenter un défi supplémentaire pour leur survie et leur adaptation.

6. Effet de toxicité des métaux lourds sur l'*Atriplex halimus*

Atriplex halimus, également connu sous le nom de pourpier de mer ou obione faux-pourpier, est une plante halophyte, ce qui signifie qu'elle est adaptée pour survivre dans des environnements salins comme les zones côtières et les sols salés. Cependant, même si cette plante est capable de tolérer des conditions environnementales extrêmes, elle peut être affectée par la toxicité des métaux lourds présents dans le sol.

Voici quelques-uns des effets possibles de la toxicité des métaux lourds sur *Atriplex halimus*:

- **Réduction de la croissance** : Les métaux lourds présents dans le sol peuvent inhiber la croissance d'*Atriplex halimus* en perturbant ses processus métaboliques essentiels, tels que la photosynthèse et la division cellulaire. (Sghaier et Ghnaya, 2018)
- **Accumulation dans les tissus végétaux** : Comme beaucoup d'autres plantes, *Atriplex halimus* a la capacité d'absorber et d'accumuler les métaux lourds dans ses tissus. Cela peut entraîner une concentration élevée de métaux lourds dans la plante, ce qui peut être toxique pour elle-même ainsi que pour les animaux qui la consomment. (Ben Ahmed et al, 2010).
- **Stress oxydatif** : Les métaux lourds peuvent induire un stress oxydatif dans les cellules d'*Atriplex halimus* en augmentant la production de radicaux libres, ce qui peut endommager les membranes cellulaires et altérer la structure des protéines. (Belkadhi et al, 2015).
- **Perturbation de la nutrition minérale** : La présence de métaux lourds dans le sol peut perturber l'absorption des nutriments essentiels par les racines d'*Atriplex halimus*, ce qui peut entraîner des carences nutritionnelles et des anomalies de croissance. (Belkadhi et al., 2015).
- **Altération de la physiologie cellulaire** : Les métaux lourds peuvent perturber la physiologie cellulaire d'*Atriplex halimus* en interférant avec les processus biochimiques et en altérant la structure et la fonction des organites cellulaires. (Ben Amor et al, 2005)

Chapitre I : Recherche Bibliographique

En résumé, bien qu'*Atriplex halimus* soit une plante adaptée aux environnements salins, elle peut être affectée par la toxicité des métaux lourds présents dans le sol, ce qui peut compromettre sa croissance, sa santé et sa survie. Les effets spécifiques dépendent de divers facteurs tels que la concentration des métaux lourds, la durée d'exposition et les conditions environnementales.

7. La phyto-purification des métaux lourds par la plante

La phyto-purification des métaux lourds par les plantes est un processus naturel par lequel les plantes peuvent absorber, accumuler et parfois détoxifier les métaux lourds présents dans le sol ou dans l'eau. Ce processus peut être utilisé dans le cadre de la dépollution environnementale pour restaurer les sols contaminés ou pour traiter les eaux usées chargées en métaux lourds. (Luo et al, 2012)

Voici comment fonctionne généralement la phyto-purification des métaux lourds par les plantes :

- **Absorption des métaux lourds:** Les racines des plantes absorbent les métaux lourds présents dans le sol ou dans l'eau environnante. Cette absorption peut se faire par différents mécanismes, tels que l'absorption passive à travers les membranes cellulaires ou l'absorption active impliquant des transporteurs spécifiques.
- **Transfert dans la plante:** Une fois absorbés par les racines, les métaux lourds sont transportés à travers la plante vers les parties aériennes, comme les tiges, les feuilles et les fleurs. Ce transfert peut se faire via la sève brute qui circule dans les vaisseaux du xylème.
- **Accumulation et stockage:** Les métaux lourds peuvent s'accumuler dans les différents tissus de la plante, en particulier dans les parties aériennes comme les feuilles, où ils peuvent être stockés temporairement ou de façon permanente. Certains métaux lourds sont stockés dans des vacuoles ou séquestrés dans des complexes organo-métalliques pour réduire leur toxicité pour la plante.
- **Détoxification et métabolisation (optionnel):** Certaines plantes ont la capacité de détoxifier les métaux lourds en les complexant avec des ligands organiques ou en les convertissant en formes moins toxiques. Cependant, ce mécanisme n'est pas présent dans toutes les espèces végétales.
- **Récolte et élimination des plantes:** Une fois que les plantes ont absorbé une quantité significative de métaux lourds, elles peuvent être récoltées et éliminées de manière appropriée pour extraire les métaux lourds des tissus végétaux. Cette étape est cruciale pour éviter que les métaux lourds ne retournent dans l'environnement.

La phyto-purification des métaux lourds par les plantes est une méthode de dépollution écologique et durable, mais son efficacité dépend de plusieurs facteurs, tels que le type de

plante utilisé, les conditions environnementales, la concentration initiale de métaux lourds dans le milieu à dépolluer, ainsi que la durée et la gestion du processus de phyto-purification.

8. La phyto-purification des métaux lourds par les halophytes

La phyto-purification des métaux lourds par les halophytes est un domaine de recherche prometteur dans le domaine de la dépollution environnementale. Les halophytes sont des plantes qui sont naturellement adaptées à vivre dans des environnements salins, comme les zones côtières ou les sols salins, et qui présentent des caractéristiques uniques qui peuvent être exploitées pour dépolluer les sols contaminés par des métaux lourds. (Khan et al, 2013).

Voici quelques-unes des façons dont les halophytes peuvent contribuer à la phyto-purification des métaux lourds :

- **Tolérance à la salinité:** Les halophytes sont capables de tolérer des concentrations élevées de sel dans le sol et dans l'eau, ce qui les rend adaptées à la dépollution des sols salins contaminés par des métaux lourds. Leur capacité à survivre et à prospérer dans de telles conditions leur permet de coloniser des environnements dégradés et d'absorber les métaux lourds présents dans le sol.
- **Absorption et accumulation sélectives des métaux lourds:** Certaines espèces des halophytes ont la capacité d'absorber sélectivement certains métaux lourds présents dans le sol à partir de la solution du sol. Ces métaux sont ensuite transportés vers les parties aériennes de la plante, où ils peuvent être stockés ou séquestrés dans les tissus végétaux. Cette capacité sélective peut être exploitée pour dépolluer les sols contaminés par des mélanges complexes de métaux lourds.
- **Effets sur la rhizosphère:** Les halophytes peuvent modifier la composition et les propriétés de la rhizosphère, la zone du sol qui entoure les racines des plantes, en sécrétant des composés organiques et en favorisant la croissance de micro-organismes bénéfiques. Ces modifications peuvent influencer la mobilité et la biodisponibilité des métaux lourds dans le sol, ainsi que leur absorption par les plantes.
- **Réhabilitation des sols salins:** En plus de leur capacité à dépolluer les sols contaminés par des métaux lourds, les halophytes peuvent également contribuer à la réhabilitation des sols salins en améliorant leur structure, leur fertilité et leur biodiversité. Leurs systèmes racinaires étendus et profonds peuvent aider à stabiliser le sol et à prévenir l'érosion, tandis que leurs feuilles et leurs tiges peuvent servir de nourriture et d'abri à diverses espèces animales.

9. La phyto-purification des métaux lourds par l'Atriplex halimus

L'Atriplex halimus, également connue sous le nom de "Halimione" ou "Halimion", est une espèce spécifique d'Atriplex souvent utilisée dans le cadre de la phyto-remédiation. (El Haddad et al, 2019)

Voici quelques caractéristiques et avantages de l'Atriplex halimus dans ce contexte :

- **Tolérance à la salinité:** Comme d'autres membres du genre Atriplex, l'Atriplex halimus est bien adaptée aux environnements salins. Elle peut survivre et prospérer dans des sols contenant des concentrations élevées de sel, ce qui en fait un choix approprié pour la réhabilitation des sols salins et sodiques.
- **Capacité d'absorption des métaux lourds:** L'Atriplex halimus a démontré une capacité à absorber et à accumuler des métaux lourds présents dans le sol, tels que le plomb, le cadmium et le zinc. Cette capacité en fait une candidate prometteuse pour la dépollution des sols contaminés par ces métaux toxiques.
- **Croissance vigoureuse:** L'Atriplex halimus est une plante à croissance rapide, ce qui lui permet de coloniser rapidement les sols dégradés. Sa croissance vigoureuse peut contribuer à la restauration de la végétation dans les zones touchées par la dégradation environnementale.
- **Écologie et biodiversité:** En plus de ses avantages en matière de dépollution, l'Atriplex halimus peut jouer un rôle important dans la restauration de l'écosystème et la promotion de la biodiversité. Ses feuilles peuvent fournir de la nourriture et de l'abri à diverses espèces animales, et ses racines aident à stabiliser le sol et à prévenir l'érosion.
- **Résistance à la sécheresse:** En plus de sa tolérance à la salinité, l'Atriplex halimus est également résistante à la sécheresse, ce qui lui permet de survivre dans des conditions arides et semi-arides. Cette résistance à la sécheresse en fait une option attrayante pour la dépollution des sols dans les régions sujettes à la sécheresse et aux pénuries d'eau.

En résumé, l'Atriplex halimus présente plusieurs caractéristiques qui en font une candidate idéale pour la phyto-remédiation, notamment sa tolérance à la salinité, sa capacité d'absorption des métaux lourds, sa croissance vigoureuse et sa contribution à la restauration de l'écosystème.

Chapitre II :
Matériel et Méthodes

Chapitre II : Matériel et Méthodes

1. Description de la zone d'étude

1.1. Situation géographique

la région d'étude située entre deux communes (Morsott et El Aouinet) nord de Tébessa, est caractérisée par une forte dynamique démographique et agricole. La région sera un pôle de développement des deux communes pour les prochaines décennies. L'essentiel des besoins en eau proviennent et continueront de provenir des eaux souterraines. La couverture végétale dégradée indique que le sol est hétérogène.



Carte 1 : Carte topographique de la région d'étude (Google Earth 2024)



Figure 1: Photo de la parcelle de la région d'étude (photo personnelle, 2024)

Chapitre II : Matériel et Méthodes

2. Paramètres climatologiques

2.1. La température : La température est une grandeur physique qui quantifie l'énergie cinétique moyenne des particules dans une substance. Elle reflète le degré d'agitation thermique des particules, influençant la sensation de chaud ou de froid ressentie. La température se mesure en degrés Celsius (°C), Fahrenheit (°F) ou kelvins (K) et joue un rôle crucial dans les transformations d'états de la matière, comme la liquéfaction des gaz à des températures critiques spécifiques (Khan Academy. 2020)

Nous avons pris les données de la température de la station de pour la même

Période d'étude (2023/ 2024)

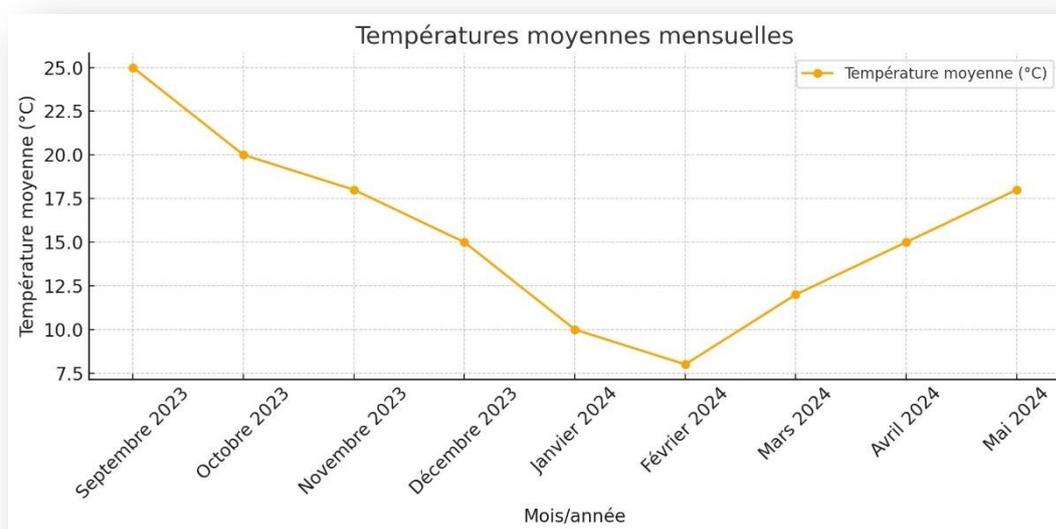


Figure 2 : Variations des Températures de L'année 2023 / 2024 (Météo Tébessa – BFMTV)

2.2. La précipitation : désigne l'ensemble des formes d'eau qui tombent de l'atmosphère à la surface de la Terre. Cela inclut la pluie, la neige, le grésil et la grêle. Ce processus est une partie essentielle du cycle de l'eau, permettant le transfert d'eau de l'atmosphère vers la surface terrestre. La distribution et l'intensité des précipitations sont déterminées par divers facteurs climatiques, tels que les schémas de circulation atmosphérique et océanique (Understanding Global Change, 2022)

Nous avons pris les données de la précipitation de la station de pour la même période d'étude (2023/ 2024)

Chapitre II : Matériel et Méthodes

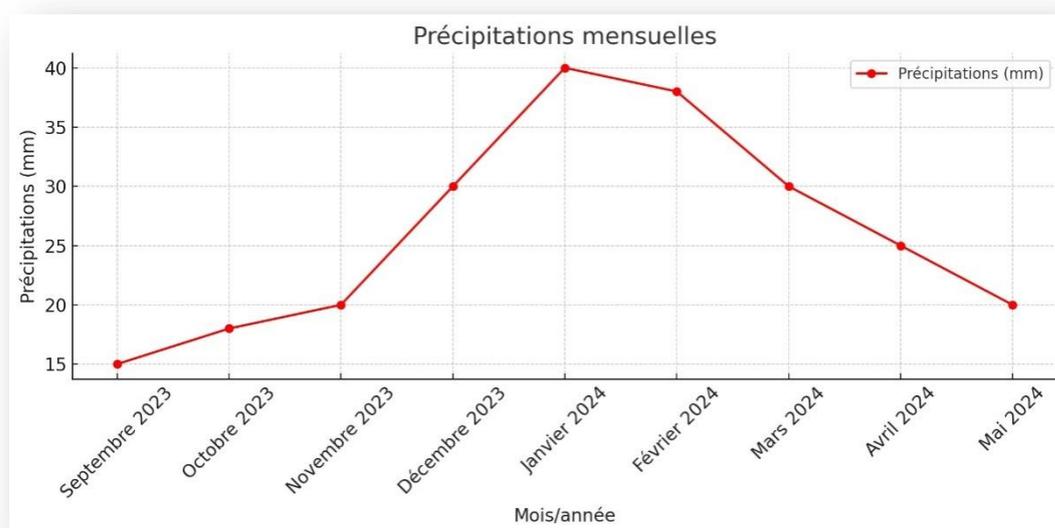


Figure 3 : Variations des précipitations de L'année 2023 / 2024(Météo Tébessa – BFMTV)

Tableaux 2: Variations de Précipitations et de températures mensuelle 2023 /2024(Météo Tébessa – BFMTV)

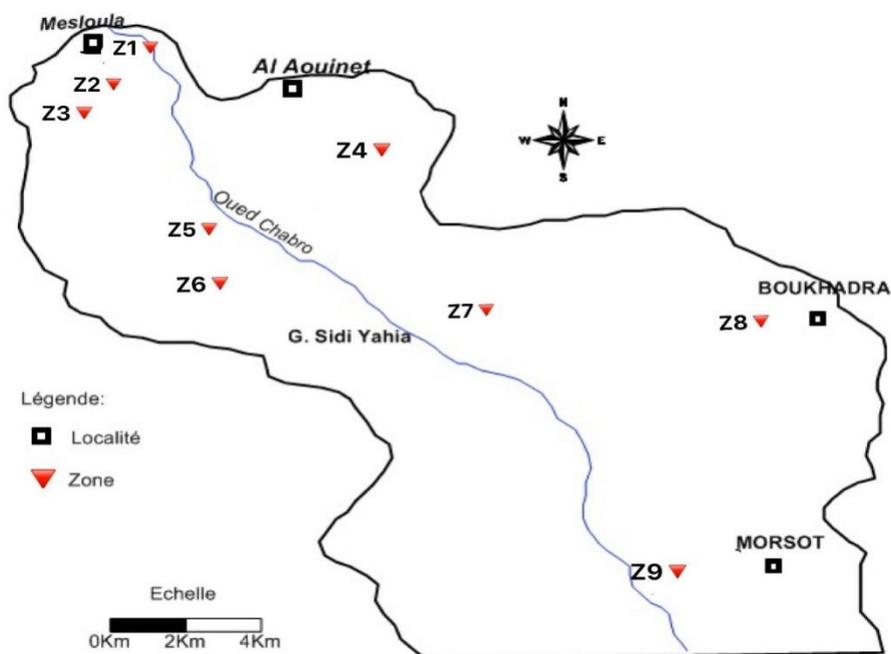
Mois / année	Température moyenne (°C)	Précipitations (mm)
Septembre 2023	25	15
Octobre 2023	22	20
Novembre 2023	16	30
Décembre 2023	7	40
Janvier 2024	3	40
Février 2024	4	30
Mars 2024	6	20

Chapitre II : Matériel et Méthodes

Avril 2024	9	15
Mai 2024	13	10

3. L'échantillonnage

Une série de prélèvements des 9 échantillons de sol ont été effectués sur Compagne une durant le mois de février 2024 l'échantillonnage de sol dans cette étude consiste à exploiter les principaux paramètres qui caractérisent chaque type de sol souterrain et qui sont représentés sur la carte d'échantillonnage de la région (carte 1).



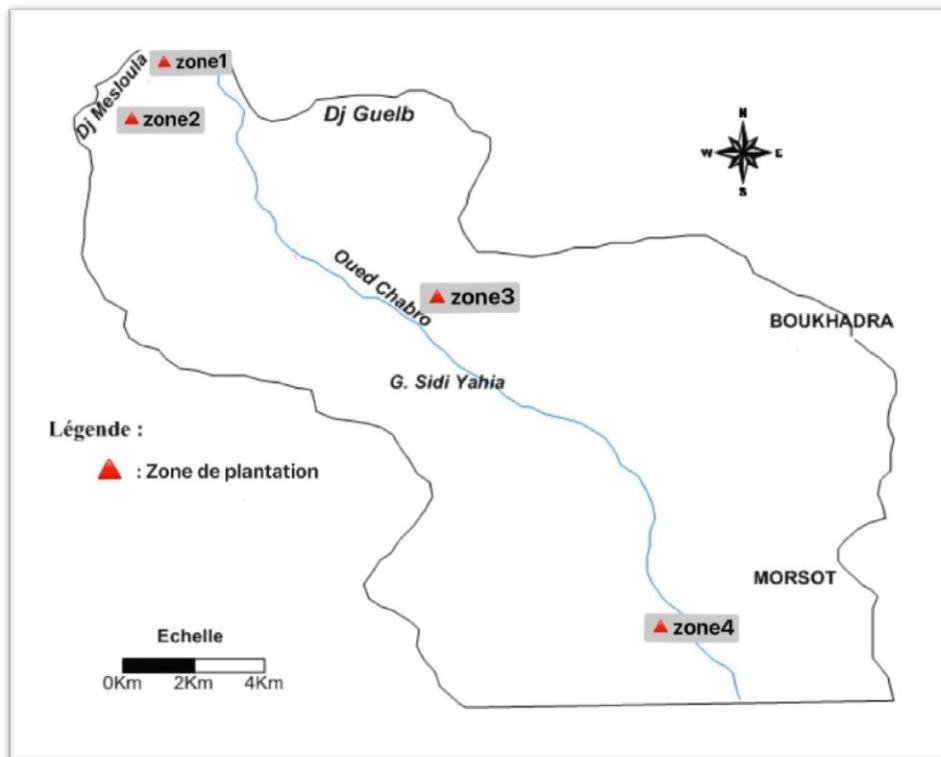
Carte 2: Carte d'échantillonnage du sol de la région d'étude

Les prélèvements de sol ont été effectués sur une profondeur de (0-30 cm) (Figure 4). Le choix de cette profondeur est dicté par le fait qu'elle est la partie du sol où les racines prospèrent en fixant la plante sur son support et en alimentant celle-ci en différents facteurs de la croissance végétale.



Figure 4 : Photo d'échantillonnages des sols (photo personnelle, 2024)

La campagne deux durant le mois de mars 2024 pour le prélèvement de 8 échantillons du sol 4 de rhizosphère d'*Atriplex Halimus* et 4 sol sans plantation pour les quatre zones (carte 2).



Carte 3: Carte d'échantillonnages du sol dans la région d'étude planté par d'*Atriplex*



Figure 5 :Photo d'*Atriplex halimus* (photo personnelle, 2024)

Les échantillons de premier et deuxième compagne sol ont été séchés, broyés et tamisés à 2 mm, au niveau de laboratoire de département de géologie faculté de science exacte et science de la nature et la vie de l'université de Tébessa Algérie au cours de l'année 2023 /2024 :

- Nous avons pris 20 grammes de chaque échantillon de sol et les avons tamisés pour enlever les particules plus grosses.
- Ensuite, nous avons ajouté 50 ml d'eau distillée à chaque échantillon tamisé,
- Nous avons agité les mélanges pendant 2 heures pour libérer les éléments présents dans le sol.
- Après l'agitation, nous avons laissé les mélanges reposer pendant 24 heures pour permettre aux particules de se déposer.
- Après 24 heures, nous avons filtré l'eau des mélanges pour éliminer les particules solides restantes.
- L'eau filtrée a été conservée pendant un certain temps pour s'assurer que tous les sédiments se sont déposés.
- Nous avons ensuite transféré l'eau filtrée dans des tubes de 2 ml et analyse par l'Appareil :



Figure 6 : Multi-paramètres Photometer HI 83200 (HANNA instruments)

4. Paramètres étudiés

-le chrome, le cadmium et le brome et Iode Par l'utilisation de Multiparameter Photometer HI 83200 (HANNA instruments).

5. Etude statistique des données

L'étude statistique a été réalisée sur la base de deux facteurs étudiés :

- ✓ Un seul génotype (*Atriplex halimus*).
- ✓ Les quatre soles étudiées.

Les moyennes des variables mesurées sur les différentes répartitions ont été soumises à une analyse de la variance à deux critères par EXCEL STAT. et les cartes en utilisant le logiciel SERFEUR.

Chapitre III

Résultats et Discussion

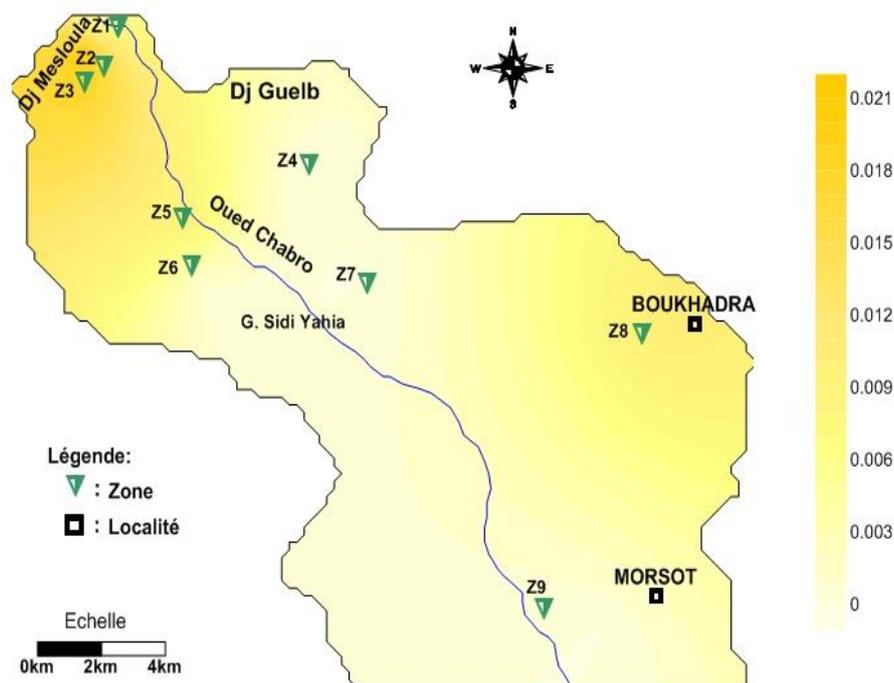
1. Identification du Terrain (Compagne 1)

Tableau 3 : Résultats d'analyses du sol de la zone d'étude

Paramètres Zone	Cadmium (mg/l)	Chrome (mg/l)	Brome (mg/l)	Iode (mg/l)
Zone 1	0,004	13	0,09	0,6
Zone 2	0,021	11	0,44	0,8
Zone 3	0,018	11	0,31	1,1
Zone 4	0	22	0,3	0,7
Zone 5	0,008	2	0,07	0,5
Zone 6	0,001	1,9	0,22	1
Zone 7	0	98	0,11	0,8
Zone 8	0,011	17	0,14	0,7
Zone 9	0	33	0,32	0,6

1.1 Le pourcentage de Cadmium du sol de la région nord de Tébessa

Les concentrations de cadmium au niveau de la région d'étude sont très variables d'une zone à une autre. Les concentrations varient entre un minimum de (0,00mg/l) un maximum de (0,021 mg/l), avec une moyenne égale à (0,011 mg/l) sur cette carte en remarque que les fortes concentrations sont localisé au niveau des zones ; 2 (0,021mg/l) et 3 (0,018mg/l) du West (mesloula) tandis que les faibles concentrations localise au niveau de la zone 1 (0,004mg/l) au Nord (Mesloula) 4 (0,00mg/l) ;6 (0,001mg/l) ;7 (0,00 mg/l) et 9 (0,00mg/l) au milieu (entre oued chabrou ; sidi yahya et Morsot] ainsi que la moyenne concentration localise au niveau de la zone 8(0,011mg/l) au este (boukhadhra) et 5 (0,008mg/l) au West (oued chabro).



Carte 4: Concentration de cadmium dans le sol de la région étudié

Selon (Lenntech, 2023) les sources naturelles de cadmium incluent les éruptions volcaniques et l'altération des roches contenant du cadmium.

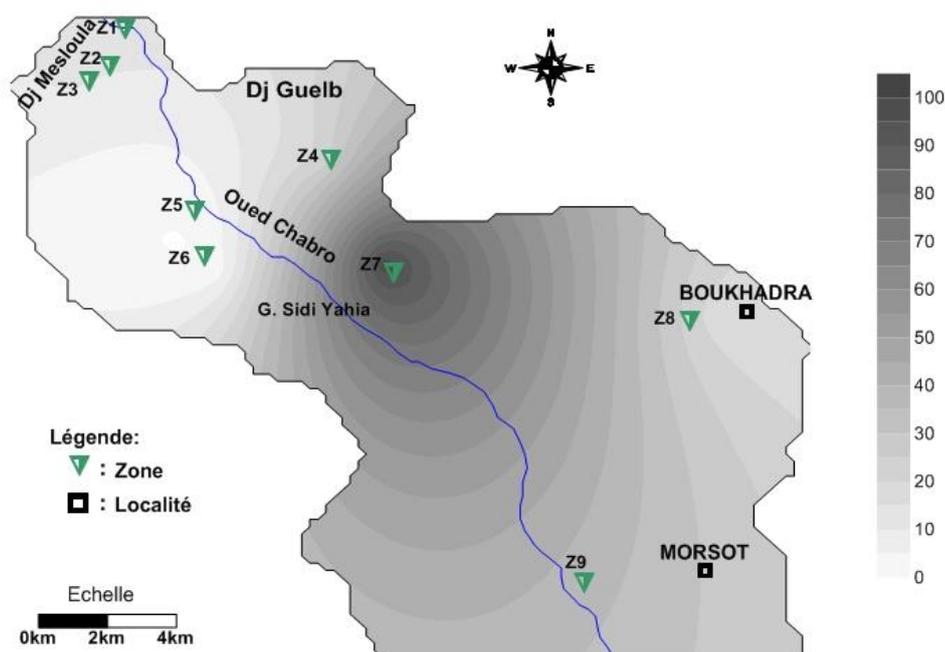
D'après la comparaison entre les normes internationales OMS (Annexe tableau 01) et les résultats obtenus : les zones 1, 2, 3, 5, 6, 7 et 8 sont toutes en dessous de 0,05 mg/l . Plus précisément, la zone 1 contient 0,004 mg/l, la zone 2 contient 0,021 mg/l, la zone 3 contient 0,018 mg/l, la zone 5 contient 0,008 mg/l, la zone 6 contient 0,001 mg/l, la zone 7 contient 0 mg/l et la zone 8 contient 0,011 mg/l. Toutes ces valeurs sont bien en dessous de la limite fixée par l'OMS, indiquant ainsi que ces zones respectent les normes de sécurité pour le cadmium dans le sol.

La concentration maximale observée dans ce tableau est de 0,021 mg/l (Zone 2), ce qui est en dessous de la limite supérieure des normes courantes. En conclues que l'origine de cadmium est naturelle (la roche mère).

1.2. Le pourcentage de Chrome du sol de la région nord de Tébessa

Les concentrations de chrome au niveau de la région d'étude sont très variables d'une zone à une autre. Les concentrations varient entre un minimum de 1,9mg/l un maximum de 98 mg/l, avec une moyenne égale à (33 mg/l) sur cette carte en remarque que la forte concentration est localisé au niveau du zone 7(98mg/l)au milieu (oued chabrou /sidi yahya) tandis que les faibles concentrations localisent au niveau des zones 2 (11mg/l) 3 (11mg/l)

du west (mesloula) 5 (2mg/l) 6 (1,9 mg/l) au milieu ainsi que les moyennes concentrations localise au niveau des zones 1 (13mg/l) au Nord (mesloula) 4 (22mg/l) au milieu (Dj Guelb) 8 (17mg/l) au este (Boukhadhra) 9 (33mg/l) au sud (Morsot).



Carte 5: Concentration de chrome dans le sol de la région étudié

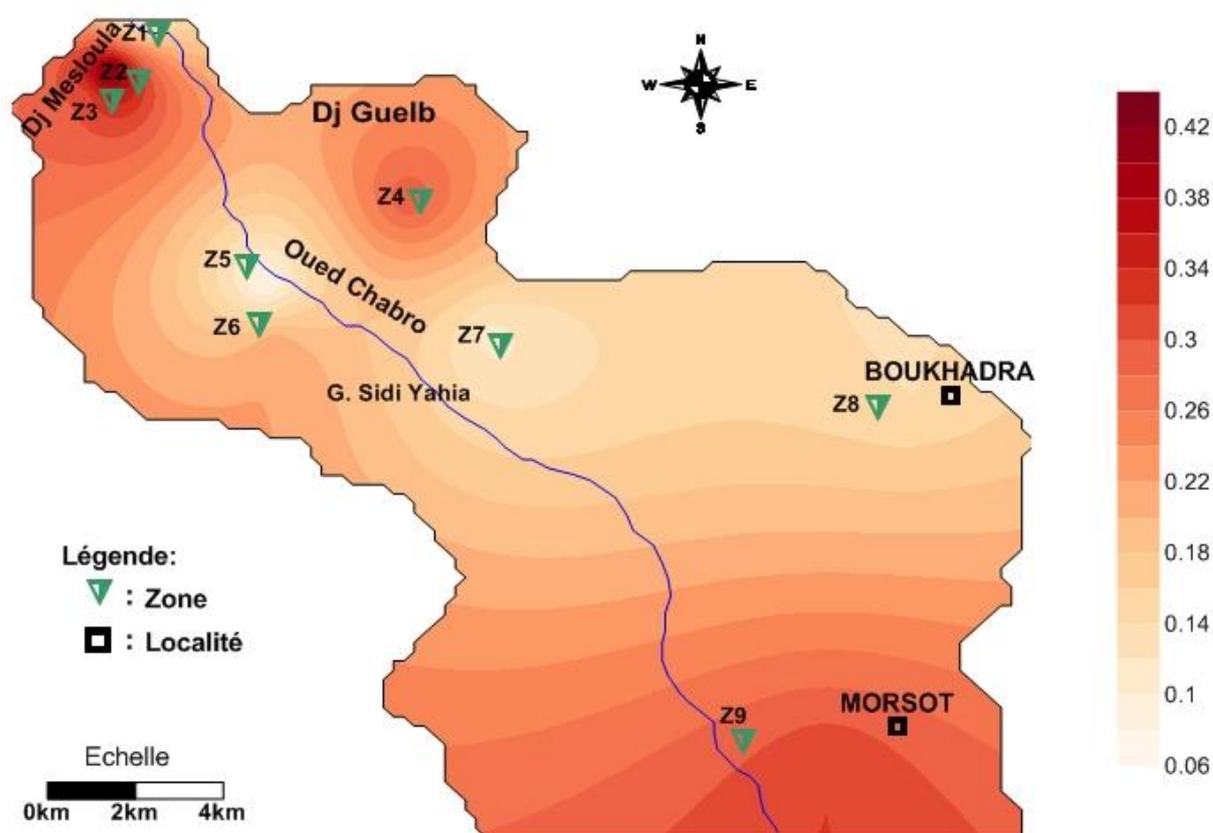
Les sources naturelles de chrome comprennent l'altération des roches riches en minéraux chromifères et les éruptions volcaniques. Les activités humaines contribuent significativement à la présence de chrome dans l'environnement (U.S. Geological Survey - 2023, 2024).

La comparaison montre que les valeurs dans le tableau 4 vont de (1mg/l à 33 mg/l).

Bien que ces valeurs puissent sembler élevées, sans spécifier la forme de chrome et en l'absence de conversion appropriée à mg/kg, il est difficile de conclure à une non-conformité directe. Cependant, les valeurs observées sont en général en dessous des limites maximales pour le chrome total. En conclues que la variation importante suggère 50% une influence humaine probablement industrielle et 50 % une source naturelle (la roche mère)

1.3. Le pourcentage de Brome du sol de la région nord de Tébessa

Les concentrations de BROME au niveau de la région d'étude sont très variables d'une zone à une autre. Les concentrations varient entre un minimum de (0,07mg/l) un maximum de (0,44 mg/l), avec une moyenne égale à (0,22 mg/l) sur cette carte. On remarque que les fortes concentrations sont localisées au niveau des zones 2(0,44mg/l) et 3(0,31mg/l) au West (Mesloul) 4(0,3mg/l) au milieu (Ghelb) 9(0,32mg/l) au Sud [Morsot] tandis que les faibles concentrations localisées au niveau des zones 1(0,09mg/l) au Nord (Mesloul) 5(0,07mg/l) au milieu (oued chabrou) 7(0,11mg/l) au milieu (Sidi Yahya) ainsi que les moyennes concentrations localisées au niveau des zones 6 (0,22mg/l) au milieu (Oued Chabro) 8(0,14mg/l) au est (boukhadhra).

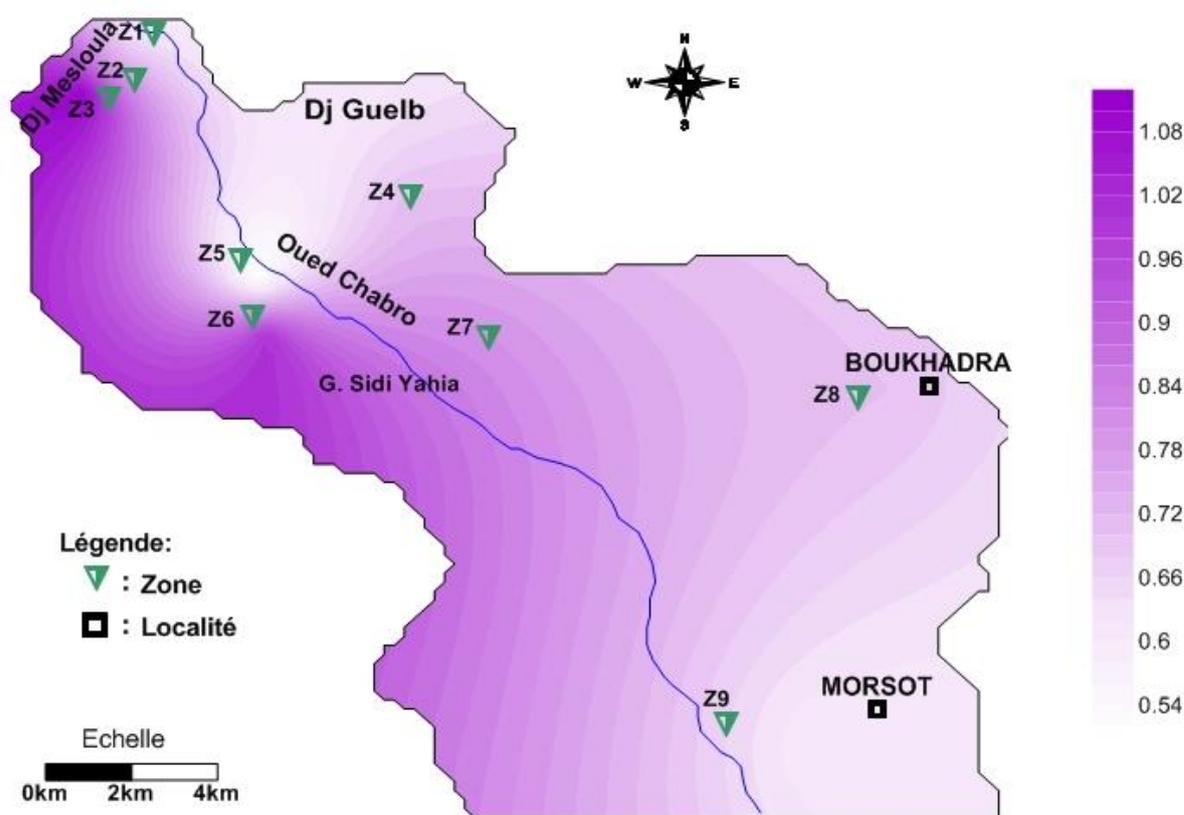


Carte 6: Concentration de brome dans le sol de la région étudiée

D'après la comparaison entre les normes internationales de brome et les résultats que nous avons obtenus, les concentrations varient de (0,07 à 0,44mg/l), les valeurs ne semblent pas exceptionnellement élevées donc l'augmentation de brome dans tous les échantillons qui confirme l'origine de cet élément est anthropique (activité humaine agricole). La présence de brome dans le sol peut être influencée par divers facteurs, notamment les activités humaines telles que l'utilisation de fertilisants. (KABATA_PENDIAS A, & PENDIAS .H 2001).

1.4. Le pourcentage de Iode du sol de la région nord de Tébessa

Les concentrations de l'iode au niveau de la région d'étude sont très variables d'une zone à une autre. Les concentrations varient entre un minimum de (0,5mg/l) un maximum de (1,1 mg/l), avec une moyenne égale à 0,7 mg/l sur cette carte en remarque que les fortes concentration sont localisé au niveau des zones 3(1,1mg/l) du West (mesloula) 6 (1,0 mg/l) au milieu tandis que les faibles concentrations localisées au niveau des zones 1(0,6mg/l) au Nord (MESLOULA) 5(0,5mg/l) au milieu (Oued chabro) 9(0,6mg/l) au Sud (Morsot) ainsi que les moyennes concentrations localisées au niveau des zones 2(0,8mg/l) au West [Mesloula] 4(0,7mg/l) au milieu (Guelb) 7(0,8mg/l) au milieu (Oued Chabro) 8(0,7mg/l) au Este (boukhadhra).



Carte 7: Concentration de l'iode dans le sol de la région étudié

D'après la comparaison entre les normes internationales de l'iode et les résultats que nous avons obtenus les concentrations varient de 0,6 à 1,1 mg/l les valeurs sont relativement normales pour des sols contenant de l'iode donc la concentration d'iode semble d'être d'origine naturelle

Selon Robert T. T. Forman (2009) L'iode est un élément chimique naturellement présent dans l'environnement, principalement dans les océans et le sol.

2. l'effet d'Atriplex sur les métaux lourds du sol (Compagne deux)

2.1. l'effet d'Atriplex sur le Cadmium du sol

L'analyse de la variance des résultats obtenus sur le cadmium du sol montre que l'espèce a enregistré des effets non significatifs.

Tableau 4 : Analyse de la variance de l'effet d'Atriplex halimus sur le taux des sels Cd de la solution du sol

Effets	Num DDL	Den DDL	F	Pr > F	Signification
Zone	1	3	0,000	0,999	Non
Sol	2	3	0,000	1,000	Non
Zone*sol	1	3	0,000	1,000	Non

L'étude des moyennes montre des valeurs nulle, sauf le résultat enregistré au niveau de la zone 1 de valeur (0,0010mg/l) pour le témoin par rapport le sol plante avec Atriplex halimus enregistré des résultats nulle (0,000 mg/l).

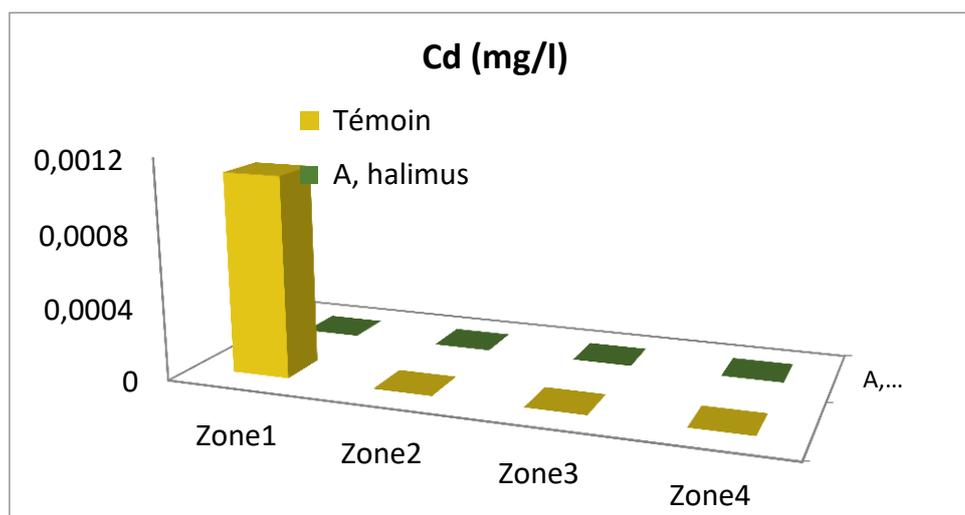


Figure 7: l'effet d'Atriplex sur le cadmium du sol de la région d'étude.

Les halophytes ont la capacité d'absorber et d'accumuler des métaux lourds dans leurs tissus, ce qui peut entraîner des concentrations toxiques dans la plante elle-même et potentiellement dans les organismes qui la consomment (Chen et al. 2018)

Atriplex halimus a la capacité d'absorber et d'accumuler les métaux lourds dans ses tissus. Cela peut entraîner une concentration élevée de métaux lourds dans la plante, ce qui peut être toxique pour elle-même ainsi que pour les animaux qui la consomment (Ben Ahmed et al, 2010)

Des recherches menées par Wang et al. (2016) ont montré que les plantes peuvent absorber et accumuler des métaux lourds dans leurs tissus, ce qui peut présenter un risque pour la santé humaine et animale lorsqu'elles sont consommées.

2.2. L'effet d'*Atriplex* sur le chrome du sol

Les études de l'analyse de la variance du chrome montrent qu'elle est non significative

Tableau 5 Analyse de la variance de L'effet d'*Atriplex* sur le taux de Cr de la solution du sol:

Effets	Num DDL	Den DDL	F	Pr > F	Signification
Zone	1	3	0,185	0,696	Non
Sol	2	3	0,823	0,519	Non
Zone*sol	1	3	0,740	0,453	Non

On remarque une forte concentration de témoin au niveau de la zone 1 (150 mg/l) et la zone 4 (155 mg/l) par apport *Atriplex halimus* zone 1 (38 mg/l) zone 4 (41 mg/l), par contre les faibles concentrations au niveau de la zone 2 (30 mg/l) et la zone 3 (60 mg/l) pour le témoin par apport *Atriplex halimus* zone 2 (72 mg/l) zone 3 (180 mg/l).

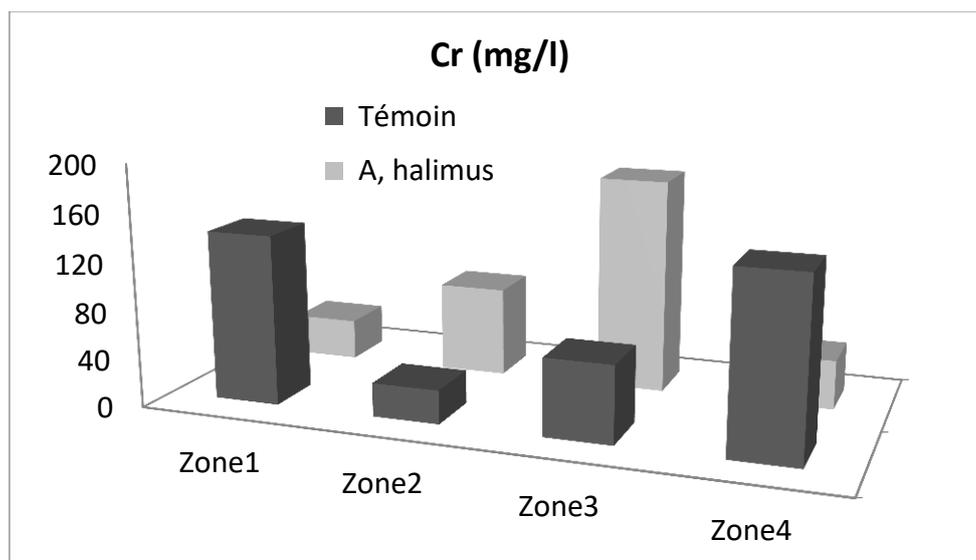


Figure 8 : l'effet d'Atriplex sur le chrome du sol de la région d'étude.

L'Atriplex halimus a démontré une capacité à absorber et à accumuler des métaux lourds présents dans le sol, tels que le plomb, le cadmium et le zinc. Cette capacité en fait une candidate prometteuse pour la dépollution des sols contaminés par ces métaux toxiques. (El Haddad et al, 2019).

Selon Belkadhi et al, (2015) La présence de métaux lourds dans le sol peut perturber l'absorption des nutriments essentiels par les racines d'Atriplex halimus, ce qui peut entraîner des carences nutritionnelles et des anomalies de croissance.

Selon Luo et al, (2012) Les métaux lourds peuvent s'accumuler dans les différents tissus de la plante, en particulier dans les parties aériennes comme les feuilles, où ils peuvent être stockés temporairement ou de façon permanente. Certains métaux lourds sont stockés dans des vacuoles ou séquestrés dans des complexes organo-métalliques pour réduire leur toxicité pour la plante.

Selon Shan et al, (2017), la présence de métaux lourds dans le sol peut interférer avec l'absorption des nutriments par les plantes en compétition avec les ions nutritifs essentiels pour les sites de liaison sur les racines.

2.3. l'effet d'Atriplex sur le brome du sol

Les études de l'analyse de variance du brome montrent qu'elle est non significative pour tous les interactions.

Tableau 6 : Analyse de la variance de L'effet d'Atriplex sur le taux de Br de la solution du sol:

Effets	Num DDL	Den DDL	F	Pr > F	Signification
Zone	1	3	0,003	0,960	Non
Sol	1	3	0,000	0,985	Non
Zone*sol	1	3	0,000	1,000	Non

Les études des moyennes montrent des fortes concentrations dans les trois zones 1 (0,19 mg/l) zone 2 (0,15 mg/l) zone 4 (0,11 mg/l) pour témoin par rapport l'Atriplex halimus zone 1(0,8mg/l) zone 2 (0,5mg/l) zone 4 (0,16mg/l) sauf la troisième zone enregistré nulle concentration pour les deux (0,000mg/l).

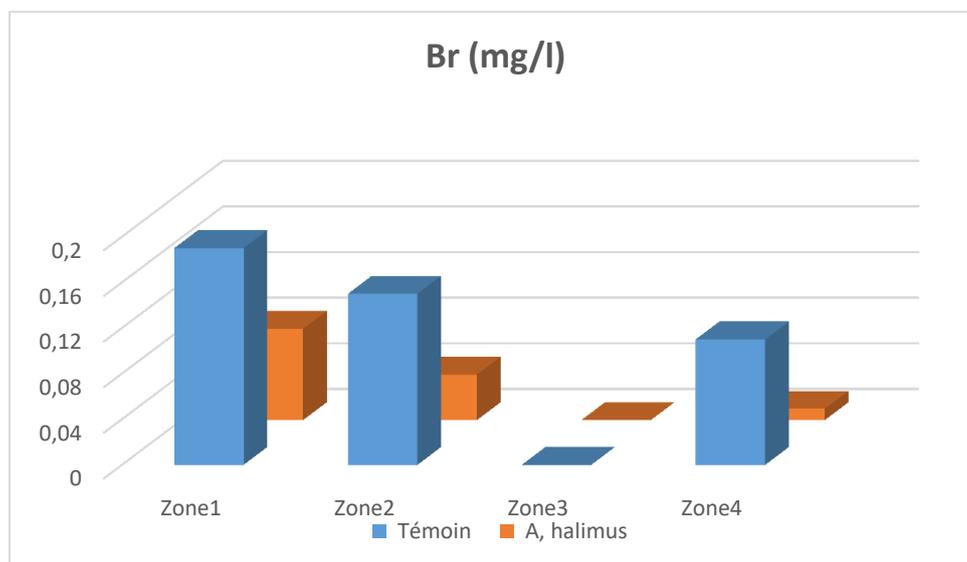


Figure 9 : l'effet d'Atriplex sur le brome du sol de la région d'étude.

Selon Ben Ahmed et al, (2010) Atriplex halimus a la capacité d'absorber et d'accumuler les métaux lourds dans ses tissus. Cela peut entraîner une concentration élevée de métaux lourds dans la plante, ce qui peut être toxique pour elle-même ainsi que pour les animaux qui la consomment.

Selon Belkadhi et al, (2015) La présence de métaux lourds dans le sol peut perturber l'absorption des nutriments essentiels par les racines d'Atriplex halimus, ce qui peut entraîner des carences nutritionnelles et des anomalies de croissance.

2.4. l'effet d'Atriplex sur l'iode du sol

L'analyse de la variance de l'iode du sol indique que les résultats sont très significatifs pour zone et significatifs pour sol et non significatifs zone*sol

Tableau 7 : Analyse de la variance de L'effet d'Atriplex sur le taux de I de la solution du sol :

Effets	Num DDL	Den DDL	F	Pr > F	signification
Zone	1	3	25,092	0,015	Oui
Sol	2	3	2,178	0,260	Oui
Zone*sol	1	3	0,023	0,888	Non

L'effet d'accumulation de l'iode au niveau de la plante enregistré un bon résultat zone 1 qui enregistré une valeur de (8,6mg/l) pour témoin et (5,8mg/l) pour Atriplex halimus zone 2 qui enregistré une valeur de (4,6mg/l) pour témoin et (3,8mg/l) pour Atriplex halimus et zone 3 avec une valeur de (5,1mg/l) pour témoin et (0,8mg/l) pour Atriplex halimus.

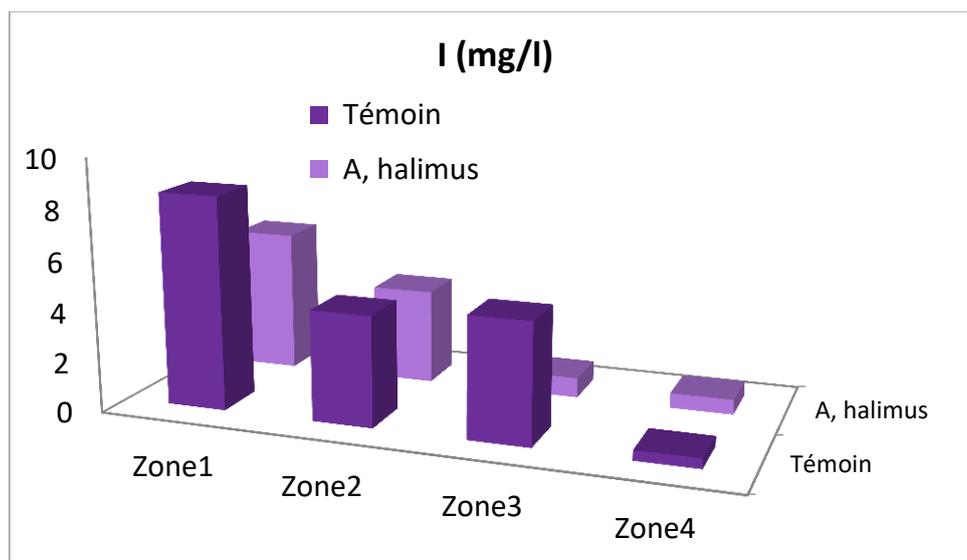


Figure 10 :l'effet d'Atriplex sur l'iode du sol de la région d'étude

Par exemple la présence de sel iode au niveau de zone d'étude très élevée comme zone 1(8,6mg/l), 2(4,6mg/l), et 3(5,1mg/l)

Selon Zandalinas et al, (2020) Les métaux lourds peuvent perturber l'homéostasie ionique des halophytes en interférant avec l'absorption et le transport des ions essentiels. Tels que le sodium, le potassium et le calcium

Conclusion

Conclusion

Cette étude a démontré que *Atriplex halimus* est une plante efficace pour l'absorption des métaux lourds tels que, le cadmium, le chrome, et l'élément trace brome et Iod. Grâce à sa capacité à accumuler ces éléments toxiques dans ses tissus, *Atriplex halimus* contribue à la réduction de la toxicité du sol dans la région nord de Tébessa.

La compétition entre les métaux lourds et le brome dans les systèmes biologiques et environnementaux est un domaine de recherche crucial. Les métaux lourds tels que le plomb, le mercure et le cadmium peuvent interférer avec l'absorption du brome en se liant aux mêmes sites d'absorption ou en altérant les mécanismes de transport cellulaire. Ces interférences peuvent réduire la disponibilité du brome pour les processus biologiques essentiels, exacerbant les effets toxiques des métaux lourds (Tchounwou et al., 2012; Ozturk et al., 2016).

De plus, certaines études ont montré que les métaux lourds peuvent induire un stress oxydatif qui affecte les niveaux de brome dans les tissus biologiques. En absorbant et en stabilisant ces métaux lourds, cette plante halophyte non seulement diminue leur disponibilité dans l'environnement, mais aussi réduit les risques associés à la contamination des sols pour les écosystèmes locaux et la santé humaine (Understanding Global Change) (Climate Data Guide).

Ainsi, *Atriplex halimus* s'avère être une solution naturelle et durable pour la phytoremédiation des sols contaminés, offrant une alternative écologique aux méthodes de décontamination traditionnelles. Son utilisation peut être envisagée dans des programmes de gestion environnementale visant à restaurer et à protéger les sols dégradés par les activités humaines, notamment industrielles et minières (Understanding Global Change).

Références Bibliographique

Références Bibliographique

- Abdel Latef, A. A., & Tran, L. S. (2016). Impacts of priming with silicon on the growth and tolerance of maize plants to alkaline stress. *Frontiers in plant science*, 7, 243.
- Aharonson, M., Shmida, A., & Heller, D. (1969). A Study of Halophytic Plant Communities in Israel. *Vegetatio*, 18(1), 66-78.
- Ahmed, M., & Goodin, J. R. (1970). Effect of salt concentration and temperature on seed germination and growth of *Suaeda linearis*. *Ecology*, 51(6), 1102-1106.
- Akujobi, C. (2012). Environmental pollution and its effects on life. *Journal of Environmental Science and Water Resources*, 1(3), 54-62.
- Allen, O. N., & Hole, L. V. (1964). Ecology of *Atriplex*. *Ecological Monographs*, 34(2), 149-177.
- Alloway, B. J. (2013). "Sources of Heavy Metals and Metalloids in Soils." In *Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability* (3rd ed., pp. 11-50). Springer.
- Alloway, B. J. (2013). *Heavy metals in soils: Trace metals and metalloids in soils and their bioavailability* (3rd ed.). Springer.
- Alloway, B. J. (2013). *Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability and Ecophysiological Studies*. Dordrecht: Springer.
- ARIF, A., et al. (1994). Les Halophytes comme ressources agricoles en Afrique du Nord. Séminaire International sur les Halophytes et les Salines, 6-9 Avril 1994, Sfax, Tunisie.
- Asgher, M., Khan, M. I. R., Iqbal, N., Masood, A., Khan, N. A., & Fatma, M. (2014). Ethylene production is associated with alleviation of cadmium-induced oxidative stress by sulfur in mustard types differing in ethylene sensitivity. *Ecotoxicology and Environmental*
- Augusto Costa, A. C., & Jesus, R. M. (2001). Heavy metals and agricultural sustainability: Impact on food safety and soil health. In *Sustainable Agriculture Reviews* (pp. 175-199). Springer, Dordrecht.
- Baize, D. (1997). *Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols (France)*. Paris: INRA Éditions.

Références Bibliographique

- Belkadhi, A., De Haro, A., Soengas, P., Obregon, S., & Cartea, M. E. (2015). Selenium improves photosynthesis and protects photosystem II in *Atriplex halimus* subsp. *schweinfurthii* against cadmium stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, 37(5), 95.
- Ben Ahmed, C., Ben Rouina, B., Sensoy, S., & Boukhriss, M. (2010). Changes in growth and leaf characteristics in broad bean (*Vicia faba* L.) plants exposed to exogenous cadmium. *Journal of hazardous materials*, 175(1-3), 622-627.
- Ben Amor, N., Ben Hamed, K., Debez, A., Grignon, C., Abdelly, C., & Ben Hamed, K. (2005). Comparative study of the effects of mannitol and PEG osmotic stress on growth and solute accumulation in *Sesuvium portulacastrum*. *Environmental and Experimental Botany*, 53(3), 221-232.
- Ben Naceur, M., & Ghnaya, T. (2007). Salt tolerance of *Atriplex halimus* L. and its response to NaCl salinity. *Journal of Plant Research*, 120(2), 291-299.
- Benmansour, K. (2014). Étude de la diversité génétique et de la tolérance au sel chez *Atriplex halimus* L. Mémoire de Magister, Université de Tlemcen, Algérie.
- Benyounes, S., Bouheroum, M., Ouali, M. S., & Meddour-Sahar, O. (2019). Evaluation of heavy metals pollution in soil and plants from Tébessa mining area, Algeria. *Journal of Materials and Environmental Science*, 10(12), 1201-1213.
- Boularbah, A., Schwartz, C., Bitton, G., Abouddrar, W., Ouhammou, A., & Morel, J. L. (2006). Heavy metal contamination from mining sites in South Morocco: 2. Assessment of metal accumulation and toxicity in plants. *Chemosphere*, 63(5), 811-817.
- Brandle, J. R. (1987). Integration of forages and crops in the semi-arid tropics. *Outlook on Agriculture*, 16(4), 170-175.
- Chen, Y., Han, Y., Cao, Y., Zhu, Y. G., Rathinasabapathi, B., Ma, L. Q., & Shen, Z. (2018). Arsenic transport in rice and biological solutions to reduce arsenic risk from rice. *Frontiers in Plant Science*, 9, 268.
- Chilimba, A. D., Young, S. D., Black, C. R., Meacham, M. C., Lammel, J., Broadley, M. R., ... & Ander, E. L. (2012). "Maize grain and soil surveys reveal suboptimal dietary selenium intake is widespread in Malawi." *Scientific Reports*, 2, 1-9.
- Choukr-Allah, R., et al. (1996). Effet de l'irrigation par eaux usées traitées sur la croissance de deux espèces de *Prosopis* et d'une espèce d'*Atriplex*. Séminaire International sur les Halophytes et les Salines, 6-9 Avril 1994, Sfax, Tunisie.
- Chriyaa, A., & El Mzouri, E. H. (1999). Les potentialités des arbustes halophytes pour l'amélioration des parcours dans les zones arides du Maroc. Actes du Séminaire

Références Bibliographique

- International sur la Réhabilitation des Pâturages Dégradés en Zones Arides, 15-20 Mars 1999, Rabat, Maroc.
- Critical Temperature and Pressure (Purdue Chemistry).
 - Cui, X., Liang, P., & Sun, W. (2013). "Effect of iodine application on its uptake by crops and some chemical properties of soil." *Environmental Monitoring and Assessment*, 185(9), 7159-7168.
 - Duthil, J. (1973). Les halophytes et la salinité dans le monde. *Bulletin d'écologie*, 4(3), 313-332.
 - Dutuit, P., et al. (1991). Lutte contre la désertification au Sahara algérien: Bilan d'une expérience de stabilisation de dunes par reboisement de sébouls par *Atriplex halimus* L. *Bois et Forêts des Tropiques*, 229(1), 45-58.
 - El Haddad, M., El Moukhli, A., Hafidi, M., & El Hadrami, I. (2019). Potential of *Atriplex halimus* for phytoremediation of heavy metals and organic pollutants in soils: a review. *International Journal of Phytoremediation*, 21(6), 545-
 - Ernest, A. (1981). *Plantes sahariennes et sub-sahariennes*. Paris: Gauthier-Villars.
 - Forman, R. T. T. (2009). *Urban Regions: Ecology and Planning Beyond the City*. Cambridge University Press.
 - Franclet, A., & Le Houérou, H. N. (1971). *Les espèces du genre Atriplex et leur utilisation en agriculture*. Paris: INRA.
 - Ghalmi Samira,(2019),Impact des sites miniers abandonnés sur l'environnement. Cas de la région Nord de Tébessa. (Extrême est Algérien),Thèse de Doctorat, Université de Tébessa,p-12
 - Gill, S. S., & Tuteja, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 48(12), 909-930.
 - Google Earth 2024 .
 - HCDS (1996). *Halophytes for the reclamation of saline wastelands and as a resource for livestock: Proceedings of the International Workshop on Halophytes for Reclamation of Saline Wastelands and as a Resource for Livestock*. Nairobi: International LivestockResearch Institute.
 - Jérôme ROSE,Les métaux et métalloïdes dans l'environnement : Transfert et impacts environnementaux,[http:// le Monde.fr](http://leMonde.fr)

Références Bibliographique

- Kabata-Pendias, A. (2010). Trace elements in soils and plants. CRC Press.
- Kabata-Pendias, A., & Pendias, H. (2001). Trace Elements in Soils and Plants (3rd ed.). CRC Press.
- Khan Academy. (2020). Temperature and kinetic theory. Khan Academy.
- Khan, M. A., & Lee, I. J. (2013). Soil and environmental bioremediation. Springer Science & Business Media.
- La synthèse de L' ASEF, 2007
- Larafa, M. (2004). Halophytes : les plantes des milieux salés. *Acta Botanica Gallica*, 151(3), 265-271.
- Le Houérou, H. N. (1980). Productivity of Mediterranean ecosystems: 2. Colloque International de l'Université de Montpellier, Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive, 17-21 Septembre 1979, Montpellier, France.
- Le Houérou, H. N. (1992). Halophyte crops for cultivation and for the rehabilitation of saline wasteland. In: Coastal lands between sea and desert. Paris: UNESCO.
- Le Houérou, H. N. (1992). Halophytes and biosaline agriculture. In: Coastal lands between sea and desert. Paris: UNESCO.
- Le Houérou, H. N. (1993). L'Homme et la biosphère: Diversité biologique et développement durable. Paris: UNESCO.
- Le Houérou, H. N. (1993). L'Homme et la biosphère: Diversité biologique et développement durable. Paris: UNESCO.
- Le Houérou, H. N. (1996). Utilisation des halophytes pour le développement des régions arides. In: Proceedings of the International Workshop on Halophytes for Reclamation of Saline Wastelands and as a Resource for Livestock Problems and Prospects. Nairobi: International Livestock Research Institute.
- Le Houérou, H. N. (1996). Utilisation des halophytes pour le développement des régions arides. In: Proceedings of the International Workshop on Halophytes for Reclamation of Saline Wastelands and as a Resource for Livestock Problems and Prospects. Nairobi: International Livestock Research Institute.
- Le Houérou, H. N. (2000). Utilisation des plantes halophytes pour le développement des régions arides. In: Halophyte Uses in Different Climates I: Ecological

Références Bibliographique

- Lee, P. K., Touray, J. C., & Goma, J. J. (2001). Environmental impact of mining activities on the surface water quality in the Têt River Basin (Pyrenees-Orientales, France). *Hydrological Processes*, 15(12), 2331-2346.
- Leigh, R. A., Johnston, A. E., & Jones, R. G. W. (1984). *Salt stress in the soil-plant system: The role of ions*. London: Academic Press.
- Lemée, G. (1978). *Les halophytes : Biologie, écologie, utilisation*. Paris: Gauthier-Villars.
- Luo, C., Shen, Z., & Li, X. (2012). *Phyto-remediation of Soils Contaminated with Heavy Metals: Role of Plants, Mycorrhizae, and Soil Amendments*. Biomed Research International, 2012.
- M. Jean HUSS (2011), Les risques sanitaires des métaux lourds, Rapport 1, Doc. 12613, P3/4
- Martinez, I., & others. (2003). Ecophysiological responses of *Atriplex halimus* and *Atriplex nummularia* to salinity and drought. In: Nedjimi, B. (2010). Potential of halophytes for the remediation of saline environments and use in agriculture. *Ecological Engineering*, 36(1), 103-112.
- Météo Tébessa – BFMTV
- Météo Tébessa – meteo blue
- Météo Tébessa 15 jours – Météo city
- Michel-Claude Girard , Christian Walter , Jean-Claude Rémy , Jacques Berthelin , Jean-Louis Morel (2005
- Michel-Claude Girard , Christian Schvartz , Bernard Jabiol (2011)
- Morsli, A., & Halitim, A. (2014). Phytoremediation of heavy metals by *Atriplex halimus* L. in an abandoned lead-zinc mining area in east Algeria. *Ecological Engineering*, 69, 161-168.
- Niazi, N. K., Singh, B., Van Zwieten, L., Kachenko, A. G., & Phung, V. T. (2014). Microbial processes and factors controlling the immobilization and mobilization of arsenic in soils. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 44(4), 257-312.
- Ortíz-Dorda, J., et al. (2005). Utilisation de l'*Atriplex halimus* L. et de l'*A. nummularia* Lindl. en tant que cultures fourragères pour l'alimentation du bétail en Tunisie. Séminaire International sur les Halophytes et les Salines, 6-9 Avril 1994, Sfax, Tunisie.

Références Bibliographique

- Pandey, N., Sharma, C. P., & Pandey, D. (2016). Cadmium induced changes in carbonic anhydrase activity and photosynthetic pigments in pea (*Pisum sativum* L.) seedlings and its amelioration by zinc. *Acta Physiologiae Plantarum*, 38(1), 5.
- Par-Smith, G. W. (1982). Systematic and ecological studies of the Chenopodiaceae in the south-west of Western Australia. *Journal of the Royal Society of Western Australia*, 65(3), 65-81.
- Pottier, A. (1979). *La végétation de l'Algérie*. Paris: CNRS.
- Pulford, I. D., & Watson, C. (2003). Phytoremediation of heavy metal-contaminated land by trees—a review. *Environment International*, 29(4), 529-540
- Purdue Chemistry. *Heavy Metals in the Environment 2022*. Source
- Quézel, P., & Santa, S. (1962). *Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales*. Tome II. Paris: CNRS.
- Raven, P. H. (2007). Evolutionary aspects of plant adaptation to salinity. In: *Biosaline Agriculture and High Salinity Tolerance*. Berlin: Springer.
- Rosas, R. (1989). The Chenopodiaceae of Mexico. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica*, 60(1), 1-73.
- Schmidts Burr, E. (1972). Évaluation de la valeur fourragère de l'*Atriplex halimus* à Ouasseltia (Tunisie). *Bulletin de la Société botanique de France*, 119(1-2), 69-79. Le Houérou, H. N., & others. (1983). Vegetation productivity in arid and semi-arid zones. *Proceedings of an International Symposium*. Toulouse: UNESCO.
- Sghaier, D. B., & Ghnaya, T. (2018). Physiological and biochemical responses of *Atriplex halimus* exposed to metals (Cd, Pb and Cu) and metalloids (As and Sb) in hydroponics. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(29), 29097-29109.
- Shahid, M., Pourrut, B., Dumat, C., Nadeem, M., Aslam, M., & Pinelli, E. (2017). Heavy-metal-induced reactive oxygen species: phytotoxicity and physicochemical changes in plants. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 242, 1-26.
- Shan, C., Zhou, Y., Liu, M., & Zhu, L. (2017). Cadmium accumulation and its effects on nutrient uptake and iron nutrition status in rice (*Oryza sativa* L.). *Plant Growth Regulation*, 81(2), 251-260.
- Tchounwou, P. B., Yedjou, C. G., Patlolla, A. K., & Sutton, D. J. (2012). Heavy metal toxicity and the environment. *EXS*, 101, 133-164. Ozturk, M., Ozturk, F., & Ceylan, R. (2016). Heavy metals and bromine interactions in aquatic ecosystems. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(15), 15336-15343

Références Bibliographique

- Tessier, A., Campbell, P. G. C., & Bisson, M. (1979). Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Analytical Chemistry*, 51(7), 844-851.
- Thi My Dung HUYNH 2009, IMPACTS DES METAUX LOURDS SUR L'INTERACTION PLANTE/VER DE TERRE/ MICROFLORE TELLURIQUE, Tébessa Université ,Thèse de Doctorat ,p-4
- TIEDEMAN, J. A., & CHOUKI, M. (1989). L'utilisation des halophytes dans les zones arides et semi-arides. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, 42(2), 213-218.
- Troughton, J. H., & Card, V. M. (1974). The ecology of *Atriplex vesicaria* in central Australia. *Journal of Ecology*, 62(1), 25-39.
- U.S. Geological Survey - 2023, 2024
- Understanding Global Change. 2022
- Van Heerden, P. S., et al. (2000). Effect of salinity on gas exchange and growth in *Atriplex nummularia* and *Acacia papyrocarpa*. In: Redman, P., et al. (Eds.), *Saltland pastures in Australia: Proceedings of a Workshop Held in Fremantle, Western Australia, 30 August-1 September 1995* (pp. 122-127). Armidale: Rural Industries Research and Development Corporation.
- Wang, S., Shi, X., Sun, H., Chen, Y., Pan, H., & Yang, X. (2016). Accumulation and health risk of heavy metals in vegetables from harmless and organic vegetable production systems of China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 132, 153-158.
- Weng, H. X., Zhao, F. J., Hou, Z. Y., & McGrath, S. P. (2002). "Distribution of iodine in soils and its uptake by plants." *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 66(17), 3055-3061.
- White, P. J., & Broadley, M. R. (2009). "Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets - iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine." *New Phytologist*, 182(1), 49-84.
- World Health Organization, (2004). "Iodine status worldwide: WHO Global Database on Iodine Deficiency." Geneva: World Health Organization.
- Yang, X., Feng, Y., He, Z., & Stoffella, P. J. (2005). Molecular mechanisms of heavy metal hyperaccumulation and phytoremediation. *Journal of trace elements in medicine and biology*, 18(4), 339-353.
- Zandalinas, S. I., Fichman, Y., Devireddy, A. R., Sengupta, S., Azad, R. K., & Mittler, R. (2020). Systemic signaling during abiotic stress combination in plants. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(24), 13810-13820.

Références Bibliographique

- Zhu, Y. G., Huang, Y. Z., Hu, Y., Liu, Y. X., Christie, P., Ju, X. T., ... & Zhang, S. L. (2003). "High percentage inorganic arsenic content of mining impacted and nonimpacted Chinese rice." *Environmental Science & Technology*, 37(2), 468-474.

Annexes

Les annexes

Annexe 01

Tableau 1 : Normes de l'OMS pour les métaux lourds dans l'eau potable (le site Web de l'OMS)

Métal	Limite maximale recommandée (OMS)
Cadmium	0,003 mg/L (3 µg/L)
Chrome	0,05 mg/L (50 µg/L)
Brome	0,01 mg/L (10 µg/L)

Annexe 02

Tableau 2: l'étage bioclimatique (Le Houérou, 1996).

Etages sub-humide	Etage semi-aride	Etage aride	Etage hyper-aride
088 > P > 600	088 > P > 088	400 > P > 100	P < 100

Annexe 03

Tableaux : matrice de corrélation

Variables	Zone	sol- Témoin	sol- Témoin	- A, halimus	Cd (mg/l)	Cr (mg/l)	I (mg/l)	Br (mg/l)
Zone	1,000	-0,507	0,346	1,06429E-17	-0,507	0,182	-0,879	-0,528
sol- Témoin	-0,507	1,000	-0,293	-0,378	1,000	0,363	0,687	0,655
sol- Témoin	0,346	-0,293	1,000	-0,775	-0,293	-0,125	-0,123	0,162
sol- A, halimus	1,06429E-17	-0,378	-0,775	1,000	-0,378	-0,119	-0,335	-0,590
Cd (mg/l)	-0,507	1,000	-0,293	-0,378	1,000	0,363	0,687	0,655
Cr (mg/l)	0,182	0,363	-0,125	-0,119	0,363	1,000	-0,199	0,066
I (mg/l)	-0,879	0,687	-0,123	-0,335	0,687	-0,199	1,000	0,571
Br (mg/l)	-0,528	0,655	0,162	-0,590	0,655	0,066	0,571	1,000

Annexe 05

Tableau : statistiques descriptives

Variable	Observations	données man	données man	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
Cd (mg/l)	8	0	8	0,000	0,001	0,000	0,000
Cr (mg/l)	8	0	8	28,000	178,000	88,500	58,381
I (mg/l)	8	0	8	0,400	8,500	3,625	2,869
Br (mg/l)	8	0	8	0,000	0,190	0,073	0,072
Zone	8	0	8	1,000	4,000	2,500	1,195

Annexe 04

Tableau : production et résidus (variable Cr (mg / l)):

Poids	Cr (mg/l)	Préd(Cr (mg/l))	Sur la préd. (Mo)	DDL	alpha	rieure 95% (M)	rieure 95% (M)	Résidu	Résidus	Starginaux de Pearson
1	141,000	141,000	0,000	3	0,050	141,000	141,000	-1,42109E-13		-2,1714E-
1	28,000	20,167	0,000	3	0,050	20,167	20,167	7,833	0,293	0,120
1	64,000	79,667	0,000	3	0,050	79,667	79,667	-15,667	-0,293	-0,239
1	147,000	139,167	0,000	3	0,050	139,167	139,167	7,833	0,293	0,120
1	34,000	63,400	0,000	3	0,050	63,400	63,400	-29,400	-0,820	-0,449
1	75,000	75,800	0,000	3	0,050	75,800	75,800	-0,800	-0,015	-0,012
1	178,000	88,200	0,000	3	0,050	88,200	88,200	89,800	1,640	1,372
1	41,000	100,600	0,000	3	0,050	100,600	100,600	-59,600	-1,663	-0,911

Annexe 05

Tableau : production et résidus (variable Cd (mg / l)):

Poids	Cd (mg/l)	Préd(Cd (mg/l))	Sur la préd. (Mo)	DDL	alpha	rieure 95% (M)	rieure 95% (M)	Résidu	Résidus	Starginaux de Pearson
1	0,001	0,001	0,000	3	0,050	0,001	0,001	-3,03577E-18		-4,4997E-
1	0,000	4,33681E-19	0,000	3	0,050	4,33681E-19	4,33681E-19	-4,33681E-19	-1,57457E-	-6,42814E-
1	0,000	4,33681E-19	0,000	3	0,050	4,33681E-19	4,33681E-19	-4,33681E-19	-7,87283E-	-6,42814E-
1	0,000	8,67362E-19	0,000	3	0,050	8,67362E-19	8,67362E-19	-8,67362E-19	-3,14913E-	-1,28563E-
1	0,000	4,33681E-19	0,000	3	0,050	4,33681E-19	4,33681E-19	-4,33681E-19	-1,17361E-	-6,42814E-
1	0,000	4,33681E-19	0,000	3	0,050	4,33681E-19	4,33681E-19	-4,33681E-19	-7,6831E-1	-6,42814E-
1	0,000	4,33681E-19	0,000	3	0,050	4,33681E-19	4,33681E-19	-4,33681E-19	-7,6831E-1	-6,42814E-
1	0,000	8,67362E-19	0,000	3	0,050	8,67362E-19	8,67362E-19	-8,67362E-19	-2,34722E-	-1,28563E-

Annexe 06

Tableau : production et résidus (variable Br (mg / l)):

Poids	Br (mg/l)	Préd(Br (mg/l))	Er la préd. (Mo)	DDL	alpha	rieure 95% (M)	rieure 95% (N)	Résidu	Résidu Standard	marginale de Pearson
1	0,190	0,353	0,000	3	0,050	0,353	0,353	-0,163	-2,571	-2,571
1	0,150	0,269	0,000	3	0,050	0,269	0,269	-0,119	-1,886	-1,886
1	0,000	0,249	0,000	3	0,050	0,249	0,249	-0,249	-3,940	-3,940
1	0,110	0,229	0,000	3	0,050	0,229	0,229	-0,119	-1,886	-1,886
1	0,080	0,233	0,000	3	0,050	0,233	0,233	-0,153	-2,413	-2,413
1	0,040	0,208	0,000	3	0,050	0,208	0,208	-0,168	-2,650	-2,650
1	0,000	0,183	0,000	3	0,050	0,183	0,183	-0,183	-2,887	-2,887
1	0,010	0,158	0,000	3	0,050	0,158	0,158	-0,148	-2,334	-2,334

Annexe 07

Tableau : production et résidus (variable I (mg / l)):

Poids	I (mg/l)	Préd(I (mg/l))	Er la préd. (Mo)	DDL	alpha	rieure 95% (M)	rieure 95% (N)	Résidu	Résidu Standard	marginale de Pearson
1	8,500	8,500	0,000	3	0,050	8,500	8,500	3,55271E-14		2,66712E
1	4,400	5,200	0,000	3	0,050	5,200	5,200	-0,800	-1,471	-0,601
1	4,800	3,200	0,000	3	0,050	3,200	3,200	1,600	1,471	1,201
1	0,400	1,200	0,000	3	0,050	1,200	1,200	-0,800	-1,471	-0,601
1	5,700	5,470	0,000	3	0,050	5,470	5,470	0,230	0,315	0,173
1	3,800	3,640	0,000	3	0,050	3,640	3,640	0,160	0,144	0,120
1	0,800	1,810	0,000	3	0,050	1,810	1,810	-1,010	-0,906	-0,758
1	0,600	-0,020	0,000	3	0,050	-0,020	-0,020	0,620	0,850	0,465