



République Algérienne Démocratique et Populaire



Université de Chahid Larbi Tébessi-Tébessa

Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie

Département : de Biologie des êtres vivants

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 :

**La variabilité de métaux lourds du sol planté par des espèces
halophytes dans la région Nord de Tébessa**

Présenté par :

Guebli Rahma

Devant le Jury :

Mme. Guenz. R	MCB	Université de Larbi Tébessi	Présidente
Mme. Ghedabnia .K	MAA	Université de Larbi Tébessi	Examinatrice
Mme. Rezkallah .Ch.	MCA	Université de Larbi Tébessi	Promotrice

Année Universitaire: 2022/2023

Remerciements

Tous d'abord Je tiens à remercier **Dieu**, le t'ont puissant Qui à ma donnée la santé, la roulanté, et l'aide pour réaliser Ce modeste travail.

Mes premiers mots vont tous droits à ma directrice de recherche Mme **Rezkallah Chafikha**

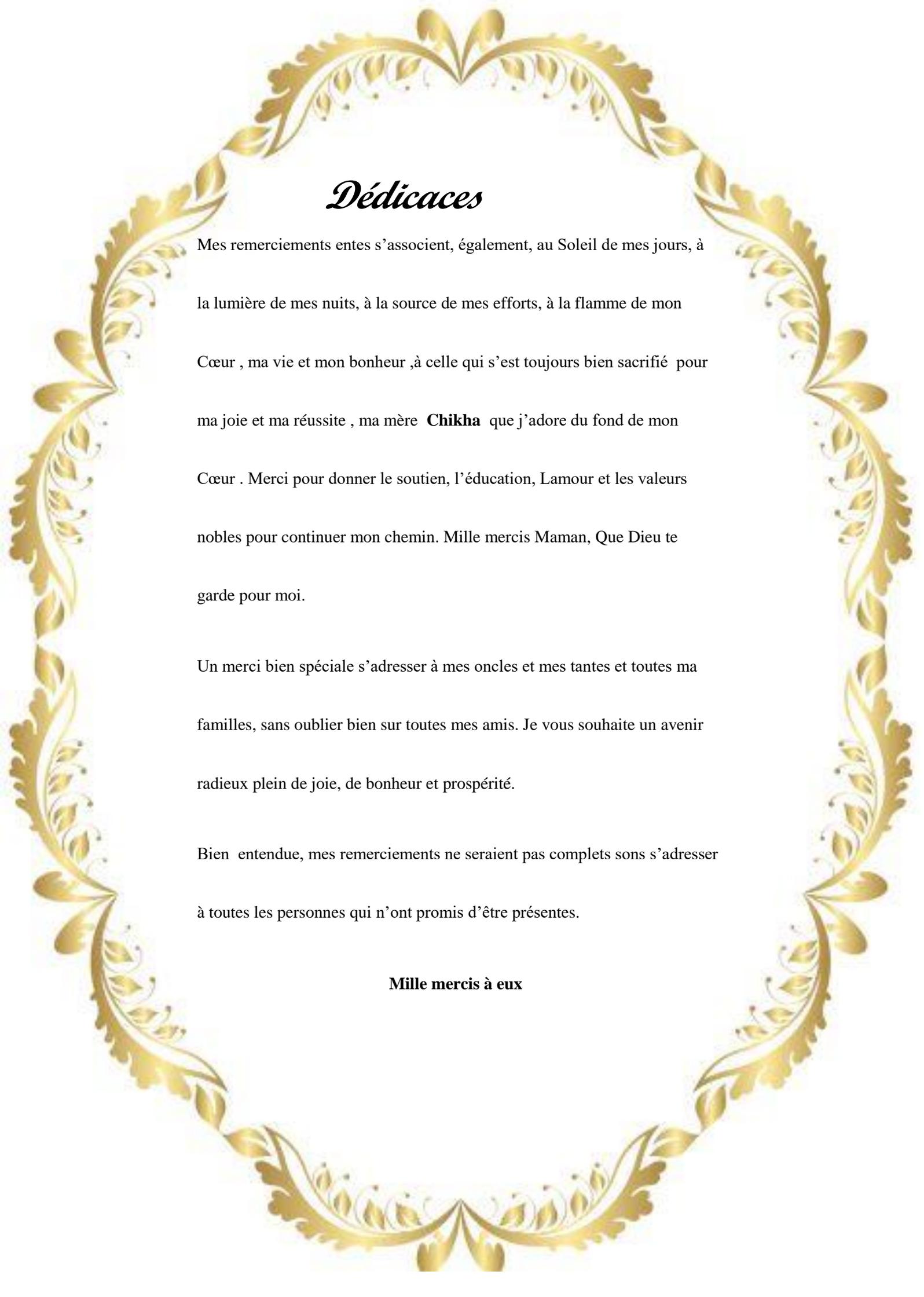
Qui à ma assumé la direction de mon travail de recherche , qu'elle soit rivement remerciée

Pour toute l'attention qu'elle a portée à la rédisation de ce mémoire, sans elle Ce travail n'aurait pas accompli. Merci Madame. Merci infiniment.

Je tiens à adresser, de manière égale, mes remerciements les plus sincères à l'ensemble des enseignants du Départements des êtres vivants et la Faculté des sciences exactes et sciences de la nature et de la vie qui n'ont mise sur chemin de recherche.

Je remercier, également, les membres de jury (**Mme Guenz Radja et Mme Ghedabnia Karima**) qui ont accepté d'évaluer le présent travail, leurs Commentaires m'inciteront à élargir mon regard.

Mes remerciements les plus doux et les plus chaleur s'adressent à tous ceux qui m'ont apporté un soutien moral. **Merci à tous**



Dédicaces

Mes remerciements entes s'associent, également, au Soleil de mes jours, à la lumière de mes nuits, à la source de mes efforts, à la flamme de mon Cœur , ma vie et mon bonheur ,à celle qui s'est toujours bien sacrifié pour ma joie et ma réussite , ma mère **Chikha** que j'adore du fond de mon Cœur . Merci pour donner le soutien, l'éducation, Lamour et les valeurs nobles pour continuer mon chemin. Mille mercis Maman, Que Dieu te garde pour moi.

Un merci bien spéciale s'adresser à mes oncles et mes tantes et toutes ma familles, sans oublier bien sur toutes mes amis. Je vous souhaite un avenir radieux plein de joie, de bonheur et prospérité.

Bien entendue, mes remerciements ne seraient pas complets sons s'adresser à toutes les personnes qui n'ont promis d'être présentes.

Mille mercis à eux

Summary:

This work is the subject of a study of the effect of *Atriplex halimus* on the variability of the percentage of certain heavy metals in the region of Aouinat-Boukhadra north of Tébessa, which is characterized by the proximity of an ancient mining area and with different levels of salinity.

Where we made field trips, the first to know the area and determine the sampling locations, and the second to take samples

The latter (soil surrounding the roots of the cut plant and soil without vegetation at a distance of one meter), then after we measured the salinity standards (electrical conductivity and the percentage of dissolved salts calcium, sodium and potassium) and the percentages of certain heavy metals (zinc and copper).

The samples were analyzed at the Geology Laboratory, Faculty of Nature and Life Sciences, University of Tébessa, where soil C and acidity were calculated and compared to the percentage of heavy metals in the soil CE TDS Na⁺ Ca⁺ K⁺ Soil Salinity

The results showed the presence of a significant proportion of heavy metals such as zinc and copper, especially in the third study area, which is considered high by World Health Organization standards and to acceptable standards, because the latter is located near an abandoned mining area, unlike the high salinity factor in the first and second areas compared to The other is the acidity of the soil is moderate

Showed the response of this type of plants to heavy metals, where we compared,

The percentages found in a soil cultivated by *Atriplex halimus* compared to other soils (control), and the results showed the absorption of the latter of toxic metals in a medium of low salinity and to reduce the variable proportions and to reduce the pollution in the soil mentioned previously and restored to help the farmers affected by this pollution and to make the agricultural soil and more fertile and thus help to give more yield.

Keywords: Heavy metals, picking, salinity, abandoned astrological area, soil pollution

Résumé.

Ce travail fait l'objet d'une étude de l'effet d'*Atriplex halimus* sur la variabilité du pourcentage de certains métaux lourds dans la région d'Aouinat-Boukhadra au nord de Tébessa, qui se caractérise par la proximité d'une ancienne zone minière et avec différents niveaux de salinité.

Où nous avons fait des sorties sur le terrain, la première pour connaître la zone et déterminer les lieux d'échantillonnage, et la seconde pour prélever des échantillons

Ce dernier (sol entourant les racines de la plante coupée et sol sans végétation à une distance d'un mètre), puis après on a mesuré les normes de salinité (conductivité électrique et le pourcentage de sels dissous calcium, sodium et potassium) et les pourcentages de certains métaux lourds (zinc et cuivre).

Les échantillons ont été analysés au Laboratoire de géologie, Faculté des sciences de la nature et de la vie, Université de Tébessa, où le C et l'acidité du sol ont été calculés et comparés au pourcentage de métaux lourds dans le sol CE TDS Na⁺ Ca⁺ K⁺ Sol Salinité.

Les résultats ont montré la présence d'une proportion importante de métaux lourds tels que le zinc et le cuivre, en particulier dans la troisième zone d'étude, qui est considérée comme élevée par rapport aux normes de l'Organisation mondiale de la santé et aux normes admissibles, car cette dernière est située à proximité une zone minière abandonnée, contrairement au facteur de salinité élevé dans les première et deuxième zones par rapport à L'autre soit l'acidité du sol est modérée ;

Montré la réponse de ce type de plantes aux métaux lourds, où nous avons comparé

Les pourcentages retrouvés dans un sol cultivé par *Atriplex halimus* par rapport à d'autres sols (témoin), et les résultats ont montré l'absorption de ce dernier des métaux toxiques dans un milieu de faible salinité et de réduire les proportions variables et de réduire la pollution dans le sol mentionné précédemment et rétabli pour aider les agriculteurs touchés par cette pollution et rendre le sol agricole et plus fertilité et ainsi aider à donner plus de rendement.

Mots-clés: Métaux lourds, préparation, salinité, zone mines abandonnée, pollution des sols.

المخلص .

- تم في هذا العمل دراسة تأثير نبات القطف المحلي على التغيير في نسبة بعض المعادن الثقيلة لمنطقة العينات -

بوخضرة في شمال ولاية تبسة التي تمتاز بكونها قريبة من منطقة منجمية قديمة وبتفاوت نسبة الملوحة

حيث قمنا بخرجات ميدانية, الاولى للتعرف على المنطقة و تحديد اماكن اخذ العينات و الثانية لاختذ عينات

هذه الاخيرة (تربة محيطية بجذور نبات القطف و تربة دون غطاء نباتي على بعد واحد متر) ثم بعد ذلك قمنا بقياس معايير

الملوحة (الناقلية الكهربائية ونسبة الاملاح الذائبة الكالسيوم و الصوديوم و البوتاسيوم) و نسب بعض المعادن الثقيلة

(الزنك و النحاس).

تم تحليل العينات في مخبر الجيولوجيا كلية علوم طبيعة و الحياة جامعة العربي التبسي حيث تم حساب كل من C و

حموضة التربة و مقارنتها بنسبة المعادن الثقيلة في التربة $K+ Ca+ Na+ TDS CE$ ملوحة التربة.

وقد اظهرت النتائج وجود نسبة معتبرة من المعادن الثقيلة كالزنك و النحاس خاصة ف منطقة الدراسة الثالثة والتي

تعتبر نسب عالية بالنسبة لمعايير منظمة الصحة العالمية و المعايير المسموحة بها حيث ان هذه الاخيرة تقع بالقرب من

منطقة منجمية مهجورة على عكس عامل الملوحة العالية في المنطقة الاولى و الثانية مقارنة بالمنطقة الاخرى اما

حموضة التربة معتدلة.

وقد اظهرت استجابة هذا النوع من النباتات للمعادن الثقيلة حيث قمنا بمقارنة النسب الموجودة في تربة مزروعة

بالقطف مقارنة بتربة اخرى (شاهدة) . وقد اظهرت النتائج امتصاص هذا الاخير للمعادن السامة في وسط منخفض

الملوحة و التقليل من نسبها المتفاوتة و تقليل التلوث في التربة المذكورة سابقا و اعادة تهيئتها لمساعدة الفلاحين

المتضررين من هذا التلوث و جعل التربة زراعية و اكثر خصوبة و بالتالي المساعدة على اعطاء مردود اكثر .

الكلمات المفتاحية المعادن الثقيلة , القطف , الملوحة , منطقة منجمية مهجورة , تلوث التربة

Liste des Tableaux

Tableaux	Pages
Tableau 01 : Sources industrielles et agricoles des métaux présents dans l'environnement	08
Tableau 02 : Rapport du flux lié à l'activité humaine et le flux naturel des métaux lourds	10
Tableau 03 : Les caractéristiques du Cuivre	13
Tableau 04 : Concentrations maximales acceptées (CMA) dans les sols agricoles et valeurs limites (VL) dans les boues susceptibles d'amender un sol (modifié d'après Merlan <i>et al.</i> 2004).	14
Tableau 05 : Nombre approximatif des espèces d' <i>Atriplex</i> dans divers régions et pays arides et semi arides du monde (le Houérou1992)	20
Tableau 06 : Classification botanique d'espèces <i>Atriplex halimus</i> L. (Quezel et Santa, 1962 ; Dupont et Guignard, 2007)	22
Tableau 07 : Composition chimique de quelques arbustes d' <i>A triplex</i> (% de matière sèche) (A.C.S.A.D, 1999)	23
Tableau 08 : Caractéristiques des espèces étudiées	30
Tableau 09 : Station géographique	32
Tableau 10 : variations de Précipitations mensuelle 2022 /2023	33
Tableau 11 : variations de Températures mensuelle 2022 /2023	35
Tableau 12 : variations de l'humidité mensuelle 2022 /2023	36
Tableau 13 : Analyses des paramètres su sols prélevés	44
Tableau 14 : Analyse de la variance de L'effet d' <i>A triplex</i> sur la conductivité électrique (CE) de la solution du sol	45
Tableau 15 : Analyses de la variance de L'effet d' <i>Atriplex</i> sur le (TDS) de la solution du sol	46
Tableau 16 : Analyse de la variance de L'effet d' <i>A triplex</i> sur la teneur en sodium de la solution du sol	47
Tableau 17 : Analyse de la variance de L'effet d' <i>A triplex</i> sur la teneur en potassium de la solution du sol	48

Tableau 18: Analyse de la variance de L'effet d' <i>A triplex</i> sur la teneur en Calcium de la solution du sol	49
Tableau 19: Analyse de la variance de L'effet d' <i>A triplex</i> sur la teneur de pH de la solution du sol	50
Tableau 20 : Analyses des métaux lourds du sol planté /Non planté par l' <i>A triplex</i>	51
Tableau 21: Analyses de la variance de L'effet d' <i>Atriplex halimus</i> sur les métaux lourds de la solution du sol	51

Listes des figures

Figures	Pages
Figure 01 : Situation géographique de la région d'étude	28
Figure 02 : Carte Topographique de la région d'étude (digitalisée par l'O.R.G.M sur <i>Mapinfo</i> à partir des cartes topographiques au 1/50000)	29
Figure 03 : Photo Satellite montrant les différents oueds de la région d'étude (Source : Google Earth 2023)	31
Figure 04 : Variations de Précipitations de L'année 2022 / 2023	33
Figure 05 : Variations de Températures de L'année 2022 / 2023	34
Figure 06 : Variations de L'humidité de L'année 2022 / 2023	36
Figure 07 : La carte échantillonnages de la région d'étude	38
Figure 08 : Photo d'échantillonnages des sols	39
Figure 09 : Photo de la Conductimètre	40
Figure 10 : Photo de la Spéctro (FLAME PHOTOMETER)	40
Figure 11 : Photo de la PH- mètre	40
Figure 12 : Photos de l'espèce <i>d'A triplex</i> de la zone d'étude	41
Figure 13 : La Moyennes de la Conductivité électrique de la solution du sol d' <i>A triplex halimus</i> +Témoin	45
Figure 14 : La Moyennes des Taux de sels soluble de la solution du sol d' <i>A triplex halimus</i> + Témoin	46
Figure 15 : La Moyennes des teneurs en sodium de la solution du sol d' <i>A triplex halimus</i> + Témoin	47
Figure 16 : La Moyennes des teneurs en potassium de la solution du sol d' <i>A triplex halimus</i> + Témoin	48
Figure 17 : La Moyennes des teneurs en Calcium de la solution du sol d' <i>A triplex halimus</i> +Témoin	49
Figure 18 : La Moyennes des teneurs de ph de la solution du sol d' <i>A triplex halimus</i> + Témoin	50

Figure 19 : La Moyennes des teneurs de Cu de la solution du sol d'A <i>triplex halimus</i> + Témoin	52
Figure 20 : La Moyennes des teneurs de Zn de la solution du sol d'A <i>triplex haliums</i> + Témoin	53
Figure : Les Solution du sol prélevés (planté et non planté)	Dans les Annexes

Liste des Annexes

Annexes
Tableau 01 : analyses de conductivité électrique du sol planté et non planté
Tableau 02 : analyses de TDS du sol planté et non planté
Tableau 03 : analyses de la salinité du sol planté et non planté
Tableau 04 : analyses du pH du sol planté et non planté
Tableau 05 : analyses du sodium du sol planté et non planté
Tableau 06 : analyses du potassium du sol planté et non planté
Tableau 07 : analyses du calcium de sol planté et non planté
Figure : les solutions de sols prélevés (planté et non planté)

Liste d'Abréviations

CEC: Capacité d'échange cationique

CE: Conductivité électrique

Cu : Cuivre

Ca+ : Calcium

ETM : Eléments de traces

Fig.: Figure

Ka+: Potassium

Na+: Sodium

Tab: Tableau

TDS : Taux des sels solubles

Zn : Zinc

H.C.D.S : Haut-Commissariat Algérien au Développement de la
Steppe

Table de matières

Remercîments

Dédicaces

Abstract

Résumé

الملخص

Synthèse Bibliographie

Introduction

Partie 1 : Synthèses bibliographiques :

Chapitre 1 :

I/ Le Sol :

- | | |
|---|---|
| 1) Définition du sol..... | 5 |
| 2) La salinité du sol : | |
| 2.1.L'origine des sels | 5 |
| 2.2.Le TDS et les cations | 6 |
| 3) La capacité d'échange cationique | 6 |
| 4) Le pH | 6 |

II / Les métaux lourds :

- | | |
|---|----|
| 1. Définition des métaux lourds du sol..... | 8 |
| 2. Les différentes sources des métaux lourds : | 8 |
| 2.1.Les sources naturelles | 9 |
| 2.2.Les sources anthropiques | 9 |
| 3. Origines des éléments des traces du sol..... | 9 |
| 3.1.Apports provenant de l'épandage agricole: | 10 |
| 4. Caractéristiques du quelques métaux lourds : | 13 |
| 1. Le cuivre | 13 |

5. Les normes des métaux lourds dans le sol	14
6. La toxicité des métaux lourds sur le sol	14
7. La toxicité des métaux lourds sur les plantes.....	15
8. Mobilités et biodisponibilité des métaux lourds	16
III / La Phyto-remédiation des métaux lourds :	16
1. Définition de la phyto-remédiation	16
2. Les différentes méthodes de la phyto-remédiation	17
3. Les halophytes et la phyto-remédiation	17
Chapitre 2 :	
I/ Les A triplex :	19
1. Définition:	19
2. Répartition:	19
2.1. Le monde.....	19
2.2. En Algérie	20
3. La Taxonomie	20
4. La Nomenclature	20
5. Les caractéristiques générales	21
II/ l'A triplex .halimus :	21
1. Définition	21
2. Morphologie	22
3. Utilisations	23
4. La physiologie	23
5. L'écologie	23
6. Ecophysiologie de <i>L'A triplex halimus</i> :	24
6.1. Mécanismes d'évitement	24
6.2. Mécanismes d'évasion	24
6.3. La Tolérance	24
Partie 2 : Matériel et Méthode	
1. La situation géographique de la région d'étude	28
2. Le couvert végétal de la région d'étude	29
3. L'hydrographie de la région d'étude	30
4. Climatologie de la région d'étude	32

5. Paramètres climatologiques :	32
- Précipitation.....	32
-Températures	33
-L'humidité	34
-La neige.....	35
- Les vents	36
-L'évaporation.....	37
- L'évapotranspiration.....	37
6. Lieu et Conditions de l'expérimentation	38
7. L'échantillonnage.....	38
8. Paramètres étudiés	39
9. Les choix des zones de prélèvement	41
10. L'échantillonnage :	42
11. Etude statistiques des donnés :	42

Partie 3 : Résultats

1. Caractérisation des paramètres physico-chimiques des sols prélevés	44
2. L'effet de plantation d' <i>Atriplexe</i> :	
a. Effet la conductivité électrique (CE) du la solution du sol.....	44
b. Effet sur le taux des sels (TDS)	45
c. Effet sur la teneur en Na ⁺ soluble	46
d. Effet sur la teneur en K ⁺ soluble.....	47
e. Effet sur la teneur en Ca ⁺ soluble.....	48
f. Effet sur la teneur en PH.....	49
3. L'effet de plantation d' <i>A triplex</i> sur Les analyses des Métaux lourds (Zn, Cu).....	50

Partie 4 : Discussion et Conclusion

Liste des tableaux

Listes des figures

Listes des annexes

Liste des Abréviations

Références bibliographie

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ



Introduction

Introduction

D'après **Quezel (1999)** les steppes constituent, du point de vue biogéographique et écologique, une zone de transition entre le Sahara et la région méditerranéenne ; leur composition floristique est relativement pauvre et peu variée. En suivant le même auteur, d'après cette composition floristique, il est possible de distinguer cinq grands groupements: steppe à *Artemisia*, steppe à *Stipa tenacissima*, steppe avec des *Chénopodiacées*, steppe sur *substrats gypseux*, et steppe *halophytes*. Selon la composition spécifique et aussi d'autres caractéristiques qui ont été définies par plusieurs associations à l'intérieur de ces cinq grands groupements (**Barry et Faurel, 1963**).

En Algérie, il n'est recensé aucune étude cartographique fiable et précise permettant de délimiter les zones touchées par la salinité des terres et la quantification de la teneur des sels et de métaux lourds dans le sol, néanmoins il existe quelques données fragmentaires qui donnent une idée générale sur ce phénomène de la dégradation des terres.

D'après **Szablocs (1989)** trois millions deux cent mille d'hectares subissent à des degrés de sévérité variable de phénomène de salinisation dont une bonne partie se trouve localisée dans les régions steppiques, où le processus de salinisation est plus marqué du fait des températures élevées durant presque toute l'année, ainsi que l'absence de drainage efficient. 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 (**Augusto Costa AC, 2001**).

Aussi des sols contaminés est aujourd'hui très préoccupant pour les pays émergents. Les métaux lourds tels que le plomb, le cadmium, le cuivre, le zinc, et le mercure ne peuvent pas être biodégradés et donc persistent dans l'environnement pendant de longues périodes. De plus ils sont continuellement rajoutés dans les sols par diverses activités : en agriculture par l'application de boues d'épuration ou dans l'industrie métallurgique. L'accumulation des métaux lourds dans l'environnement peut se répercuter sur la santé des êtres humains et des animaux (**Wang et al. 2003**).

Dans ce sujet, il y a une présentation de la salinité du sol confirmée dans des études passées de la région nord du bassin d'effondrement Elouinet-boukhadra. La région sera un pôle de développement des deux communes de mine a bondonne pour les prochaines décennies, classée de zone steppique s'étendant sur l'étage climatique semi-aride (300 à 400 mm), elle est dominée par une végétation particulière telle que l'armoise (*Artemisia herba alba*), l'Alfa (*Stipa tenacissima*), le sparte (*Lygeum spartum*) et l'arroche (*A triplex halimus*) (**FAO, 2010**).

L'introduction d'espèces végétales tolérantes aux stress abiotiques et de haute valeur socio-économique, constitue une des approches pour la réhabilité des sols salins. Le choix

idéal d'une végétation appropriée à ces conditions, constitue la première étape pour résoudre le problème de la salinité. C'est ainsi que l'introduction des espèces halophiles qui complètent leurs cycles de vie à des niveaux de salinité élevés et qui ont l'habilité d'accumuler de fortes concentrations en micronutriments, supérieures aux niveaux normaux (**Wang et al, 1997; Saikachout et al, 2009**) sont prometteuses pour le dessalement des sols dans les zones arides et semi-arides (**Messedi et Abdelly, 2004**).

Actuellement on appelle halophyte toute plante qui est en contact par une partie quelconque de son organisme avec des concentrations anormalement fortes de sels : végétations, plantes de bords de mer, de déserts, marais ou lacs salés. Les halophytes comprennent en réalité des espèces manifestant « en culture comparée » un meilleur développement dans les milieux enrichis en sels solubles et des espèces dites halo-résistantes en fait les plus nombreuses, qui tolèrent plus ou moins ces mêmes éléments (**Corre, 1975**). Les halophytes sont un groupe d'espèces végétales spécialisées du point de vue écologique, physiologique et biochimique, se développant sur des substrats salés, capables de produire des masses vertes et des graines pendant la période de vie (**Aronson, 1985. O'Leary, 1985. Shamsutdinov, 1993 ; Shamsutdinov et Shamsutdinov, 2008**).

Les avantages de l'utilisation de ces espèces, en particulier les *A triplex*, réside dans les stratégies d'adaptations éco physiologiques, leur grande résistance à l'aridité et à la salinité (**Belkhodja et Bidai, 2004**).

Les systèmes racinaires d'*A triplex* très ramifiés, jouent un rôle important dans la réhabilitation des sols dégradés et la lutte contre l'érosion des sols et la désertification (**Abbad et al. 2004**)

La démarche adoptée est basée sur l'étude synchronique en comparant des sols plantés de espèces d'*A triplex halimus* et un sol témoin, des tous les périmètres étudiée sont mis. Le but étant de déterminer les effets des plantations sur quelques paramètres de salinité et quelque métaux lourd du sol.

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

- ✓ Généralités sur la salinité et les métaux lourds du sol et les plantes halophytes
- ✓ Matériels et méthodes;
- ✓ Analyses et descriptions des résultats
- ✓ Conclusion générale.



Chapitre I :
Le sol

1. Définition du sol :

Selon **Marc-André Selosse** : Si, pour le grand public, le sol est souvent vu comme une simple surface, il y a une pluralité de définitions scientifiques. Pour le biologiste, le sol s'arrête là où commence la roche, même si le processus d'altération y est déjà entamé. Parce que, même si on sait qu'il y a de la vie et des processus vivants à ce niveau-là, comme d'ailleurs à de plus grandes profondeurs, il y en a de moins en moins et ils sont de moins en moins influents. Le géologue, lui, s'y intéresse en priorité. Aussi, le sol du géologue est-il au moins dix fois plus épais que celui du biologiste comme du pédologue. Pour ces derniers, il est de l'ordre d'un mètre en zone tempérée et d'une dizaine en zone tropicale. (**Marc-André. S.2022**).

2. Salinité du sol :

Le phénomène s'observe, en effet depuis le cercle polaire jusqu'aux tropiques, les régions arides ou semi-arides sont loin d'être les seules concernées, il s'observe d'ailleurs depuis les niveaux les plus bas jusqu'à 5000 m (plateau tibétain) (**Hamdy et al, 1995**);

En Afrique du Nord et au Moyen Orient, ils couvrent près de 15 millions d'hectares dont 15 % sont dépourvus de toute végétation (**Hamdy et al, 1995**).

En milieu salé, les halophytes subissent trois types de contraintes.

2.1. Origine des sels

Les principales origines de la salinité dans le sol selon (**Kalagi et Pikkientz, 1993; Ben fatoum, 1993**) sont :

- ✓ Une roche mère saline.
- ✓ Les faibles précipitations.
- ✓ Les fortes évapotranspirations.
- ✓ Les irrigations par une eau salée.
- ✓ L'utilisation des fertilisants minéraux.

Selon **Fitter et Hay (1987)** et **Hopkins (2003)**, les marais salins côtiers, sont caractéristiques de régions basses, souvent des estuaires, qui sont submergées à marée haute par l'eau de mer qui est constituée d'environ 3 % de chlorure de sodium.

Une forte salinité est également caractéristique des déserts continentaux, l'évaporation y est supérieure aux précipitations ; le drainage est faible ou nul et les sels s'accumulent dans les sols.

Une forte salinité est également présente sur les rives de lacs intérieurs, comme le grand lac salé ou la mer morte.

Une troisième catégorie de sols très salés est constituée par les terres agricoles qui ont été très irriguées, par un mauvais système de drainage et de l'utilisation des eaux salées (**Hamdy et al, 1995**).

2.2. Le (TDS) et les cations :

C'est le processus de migration des sels solubles et concerne essentiellement les cations les plus mobiles, ceux qui sont susceptibles de modifier le pH du sol, il s'agit essentiellement des cations alcalino-terreux (Na^+ , K^+ , Mg^{+2} , Ca^{+2}) qui existent dans les solutions du sol à l'état d'équilibre avec la forme échangeable retenue par le complexe adsorbant.

Par exemple : $\text{Sol K} \rightarrow \text{K}^+$ soluble.

Les migrations sous forme de sels solubles, généralement très mobiles, favorisent les processus de soustraction de l'ensemble du profil c'est-à-dire les pertes par drainage Profond, plutôt que la redistribution entre horizons, ceci est un aspect fondamental de la lixiviation.

3. La capacité d'échange cationique :

La capacité d'échange ionique est liée principalement aux substitutions Iso morphiques et aux phénomènes de bordure qui se produisent suite à l'hydrolyse des liaisons Si-OH et Al-OH. Dans ce cas, le pH joue un rôle très important. A pH faible, les ions H^+ se lient davantage par rapport à OH^- .

Une charge positive se développe. Dans ces conditions, les argiles se caractérisent donc par une capacité d'échange anionique CEA. A pH basique, les fonctions silanols et aluminols se déprotonent et donne naissance au développement d'une charge négative à la surface. Les argiles se caractérisent alors par une capacité d'échange cationique CEC.

La mesure de la capacité d'échange cationique des argiles est importante puisqu'elle permet la prédiction du mécanisme d'adsorption des molécules cationiques.

Toutefois, la CEC effective du sol varie en fonction de son pH. Notamment, elle est inférieure à la CEC mesurée à pH 7, lorsque le sol est franchement acide.

En-deçà de pH 5,5 et au-delà de pH 7,5, l'écart relatif entre la valeur de la CEC effective et la CEC à pH 7 augmente rapidement. Dans ces cas, la CEC Metson n'est plus un bon indicateur de la CEC effective

4. Le PH du sol :

Les pratiques agricoles telles que l'utilisation d'engrais, la gestion de l'irrigation et la culture de certaines plantes peuvent également influencer le pH du sol. Par exemple, l'utilisation excessive d'engrais azotés peut augmenter l'acidité du sol, tandis que l'utilisation de calcaire peut augmenter son alcalinité (**Brady & Weil, 2008**)

Les tests de pH du sol sont couramment effectués à l'aide de kits de tests chimiques ou de pH-mètres électroniques. Il est recommandé de prélever des échantillons de sol à différentes profondeurs pour obtenir une image complète du profil de pH du sol (FAO, 2006).

II/ Les Métaux lourds du sol :

1. Définition des métaux lourds du sol :

Les métaux lourds ne sont pas spécifiquement définis, mais ce sont généralement des éléments qui possèdent des propriétés physiques telles que les métaux de transition, certains métalloïdes, les lanthanides, les actinides, une densité supérieure à **5 g/cm³**, et ils sont également appelés métaux toxiques.

Certains peuvent devenir toxiques lorsque la concentration dépasse un certain seuil. C'est le cas du cuivre (Cu), du nickel (Ni), du zinc (Zn), du fer (Fe).

Tableau 01: Sources industrielles et agricoles des métaux présents dans l'environnement:

Utilisations	Métaux
Batteries et autres appareils électriques	Cd, Hg, Pb, Zn, Mn, Ni,
Pigments et peintures	Ti, Cd, Hg, Pb, Zn, Mn, Sn, Cr, Al, As, Cu, Fe
Alliages et soudures	Cd, As, Pb, Zn, Mn, Sn, Ni, Cu
Biocides (pesticides, herbicides)	As, Hg, Pb, Cu, Sn, Zn, Mn
Agents de catalyse	Ni, Hg, Pb, Cu, Sn
Verre	As, Sn, Mn
Engrais	Cd, Hg, Pb, Al, As, Cr, Cu, Mn, Ni, Zn
Matières plastiques	Cd, Sn, Pb
Produits dentaires et cosmétiques	Sn, Hg
Textiles	Cr, Fe, Al
Raffineries	Ni, V, Pb, Fe, Mn, Zn
Carburants	Ni, Hg, Cu, Fe, Mn, Pb, Cd

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 minéraux 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 oligoéléments indispensables à certains organismes, en particulier par leur action catalytique au niveau du métabolisme.

2. Les différentes sources des métaux lourds :

2.1. Les sources naturelles :

A. 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 **set/ou sédiment océaniques**. On estime le gisement de mercure à 300 milliards de tonnes dont 99% se trouvent dans les sédiments océaniques.

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

- a) 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.
- b) 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.

B. Le passage du minerais 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.

C. 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. (Bengladesh).

D. 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.

2.2. Les sources 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.

a) 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.

b) Les procédés thermiques : Sidérurgie, métallurgie, incinérateurs, centrales thermiques, transport...)

Tableau 02 : Rapport du flux lié à l'activité humaine et le flux naturel des métaux lourds

Elément	Flux lié à l'homme / Flux naturel (%)
Cadmium	1, 897
Mercure	27, 500
Chrome	1,610
Arsenic	2, 786
Plomb	34, 583

3. Origine des éléments en trace dans le sol:

L'homme probablement l'être vivant qui modifie le plus la composition des sols en éléments traces (**Bourelle et Berthelin, 1998**), que ce soit à travers l'agriculture ou par l'ensemble des activités qui il a développé depuis l'extraction de ces éléments de certaines roches du sous-sols ou ils se sont suffisamment concentrés pour former des minerais exploitables , jusqu'à leur dispersion à la surface de la terre au travers d'usages très variés .

Les pratiques agricoles sont également à l'origine d'apports d'éléments traces.

Divers pesticides contiennent **As, Hg, Cu, Mn, ou Pb**. Certains engrais phosphatés contiennent naturellement du cadmium à des teneurs non négligeables. Les scories de déphosphoration, longtemps utilisées comme fertilisant et amendement calcique, ont apportés du nickel, du chrome ou du vanadium.

Les amendements minéraux visant le plus souvent à remonter le pH du sol apportent également divers ET, en quantités variantes avec la composition de la roche carbonatée choisie comme matière première. Certains amendements organiques, comme les fumiers et surtout les lisiers, amènent au sol du cuivre et du zinc en quantités importantes. Enfin les sols notamment les sols péri-urbains sont de plus en plus utilisés dans le cadre du recyclage des déchets. Mais si les boues de stations d'épuration des usées, les composts d'ordures ménagères ou les effluents, des industries agro- alimentaires présentent effectivement un intérêt

agronomiques, ils renferment divers éléments en traces qui sont ainsi incorporés au sol avec les apports.

Les teneurs mesurées aujourd'hui dans le sol résultent :

De processus naturels : une composition chimique initiale hérite du matériau parental, plus ou moins modifiée ensuite par l'évolution des sols (différenciation d'horizons) : le **fond géochimiques** :

- a) d'apports liés aux activités humaines : les divers contaminations:
- b) Constituants involontaires d'apports volontaires, gérés au niveau de la parcelle agricole (fertilisants, déjections animales, boues d'épurations, composts urbaines, etc.).
- c) Des apports par des voie atmosphériques d'origines lointaines (poussières et aérosols provenant des chauffages ,activités industrielles , trafic automobiles , incinérateurs ,etc.).
- d) Des pollutions localisées massives (souvent à proximités d'une source industrielle).

A l'échelle du globe ,**AL ,Fe,Mn,Ti,et Co** , sont essentiellement d'origine naturelle alors que **Pb ,Cu ,Zn,As,Se,Ag**,sont essentiellement d'origine anthropique; **Cr ,Hg ,Vet Ni** ont ,quant à eux ,une double origine .Une comparaison entre les concentrations en métaux dans les précipitations des pays industrialisés et celle des précipitations dans les régions éloignées de toute activité humaines (pôles) complètent et précisent celles qui ont été obtenues à l'aide des facteurs d'enrichissement. L 'exemple du Pb montre que les apports anthropiques représentent plus de 99% des dans la plupart des pays d' Europe ,passant de quelques dixièmes de g/ha dans les régions les plus reculées à plusieurs dizaines de g/ha dans les campagnes européennes .**Zn** et **Cd** présentent le même type de comportement avec cependant une plus faible proportion d'origine anthropique.

Parmi les éléments toxiques, Le plomb est connu pour provenir engendra partie des émissions automobiles --source en diminution avec les carburants sans plomb, mais aussi en partie de l'incinération et de divers processus industriels.

Le mercure à deux origines. La part la plus importante est d'origine naturelle, L'autre part provient des traces de mercure présent dans différents produits manufacturés (thermomètres).

Le cadmium, quant à lui, provient en part approximativement égales de la combustion du charbon et de la sidérurgie.

L'arsenic provient aussi en grande partie du charbon et d'une autre source assez spécifique : ce sont les pesticides dont différentes formulations contiennent ce métalloïde.

3.1.Apports provenant de l'épandage agricole:

Les métaux traces sont présents dans deux types d'intrants agricoles : les engrais minéraux et, de façon plus localisée, dans certains amendements organiques. Ainsi les engrais phosphatés sont obtenus à partir de minerais riches en potassium qui contiennent aussi du cadmium en concentrations variables selon les sources. Les phosphates du Maroc contiennent peuvent contenir jusqu'à 100mg /kg de cadmium, et constituent ainsi une source non négligeable de cadmium sur un sol agricole. Ces éléments proviennent d'abord de phénomènes naturels (fond pédo-géochimique naturel) :

- a. héritage de la roche-mère (composition chimique de la roche - sans oublier de prendre en compte également les formations superficielles) ;
- b. cycle biogéochimique : des éléments sont adsorbés par les racines dans tous les Horizons, assimilés par les plantes et libérés plus tard soit dans le sol (décomposition des racines) soit à la surface (débris des parties aériennes, litières forestières) ;
- c. transferts pédologiques verticaux : migrations sous formes solubles ou associés aux Particules d'argile et au fer vers les horizons profonds ou vers les nappes phréatiques ;
- d. transferts pédologiques latéraux : lessivage latéral de particules ou redistributions suite aux cycles réduction/oxydation ; 6bis poussières et aérosols d'origine lointaine : volcaniques, embruns et vents lointains.

Les teneurs totales mesurées résultent aussi d'influences directes ou indirectes des activités humaines :

- e. apports agricoles gérés à la parcelle : engrais (notamment phosphatés), amendements calcaires, fumiers, lisiers, épandages divers, boues de stations d'épuration, composts urbains, produits de traitements phytosanitaires, etc. ;
- f. apports diffus aériens d'origine lointaine : poussières et aérosols provenant des Chauffages, activités industrielles, moteurs d'automobiles, etc. ;
- g. apports massifs localisés d'origine proche : « pollutions » ;
- h. transferts latéraux de particules par ruissellement à la surface. Apports ou pertes selon position sur les versants.

Sources Ces métaux sont présents à l'état de trace de façon naturelle dans les sols, selon leurs caractéristiques géologiques (concentration pédo-géochimique naturelle). Des processus de retombées naturelles d'origine volcanique par exemple, influencent aussi les concentrations. Les activités humaines (qu'elles soient domestiques, industrielles ou agricoles) influencent par ailleurs les concentrations par dépôts des poussières sur les sols et les eaux. L'érosion des sols contribue à remettre en suspension des métaux sous-forme particulaire ou gazeuse.

4. Caractéristique des quelque métaux lourd sur le sol:

4.1. Le Cuivre:

Propriétés physiques et mécaniques:

Le cuivre cristallise dans le système cubique à faces centrées ($a = 0,366$ nm). C'est, après l'argent, le meilleur conducteur de la chaleur et de l'électricité, mais cette conductivité est très affectée par les éventuelles impuretés (phosphore, arsenic et aluminium notamment). Les atomes étrangers déforment le réseau et rendent plus difficile le transport des électrons.

Les caractéristiques mécaniques du métal pur sont moyennes ; elles le situent loin derrière l'acier, mais avant les métaux mous (zinc, plomb, étain). Sa dureté est 3 dans l'échelle de Mohs, la résistance à la traction est faible et l'allongement important. Les propriétés mécaniques du cuivre sont assez favorables à la mise en forme à chaud et à froid.

Du côté des hautes températures, au contraire, ils présentent deux inconvénients : la résistance à l'oxydation décroît avec la température et les caractéristiques mécaniques diminuent dès 200 °C pour le cuivre pur.

Propriétés chimiques:

Le cuivre précède l'argent et l'or dans le sous-groupe b de la première colonne du tableau périodique des éléments. Neuvième des dix éléments de transition compris entre le calcium et le gallium, il est le premier à posséder une sous-couche 3d complète.

Métal noble, le cuivre, à l'inverse du fer, du zinc et du plomb, ne déplace pas l'hydrogène de ses solutions, et n'est donc pas soluble dans les hydracides. Il est soluble, en revanche, dans les acides oxydants (acide nitrique, acide sulfurique concentré et chaud). L'ammoniaque le dissout également en donnant une solution bleue connue sous le nom de « **liqueur de Schweitzer** ». Le cuivre résiste bien à la corrosion atmosphérique et marine.

Tableau 03: Les caractéristiques du Cuivre

Numéro atomique	29
Masse atomique	63,54
Isotopes stables	63 et 65
Radio - isotopes	52 à 62, 64 à 80
densité	8,9 g/ml
Température de fusion	1083,0 °C
Température d'ébullition	2570 °C
Structure électronique	1s ² , 2s ² p ⁶ , 3s ² p ⁶ d ¹⁰ , 4s
Valence	1 ou 2

Premier potentiel d'ionisation	7,72 eV
Deuxième potentiel d'ionisation	20,2 eV
Potentiels électrochimiques	/
Cu/ Cu+	0,552V
Cu/ Cu²⁺	0,552V
Résistivité électrique	1,73x10 ⁻⁸ Ω .m
Conductivité thermique	De 400à 412W.m-1.K-1

5. Les normes des métaux lourds sur le sol: (les Teneurs):

Tableau 04: Concentrations maximales acceptées (CMA) dans les sols agricoles et valeurs limites (VL) dans les boues susceptibles d'amender un sol (**modifié d'après Merian et al. 2004**).

Eléments	CMA (mg.kg-1 PS)	VL (mg.kg-1 Ps)
Cd	1 -5	0,5 - 1,5
Cr	50 -150	30 – 100
Cu	30 - 100	20 – 100
Pb	20 - 300	70 – 100
Zn	100 - 300	60 – 200

6. La toxicité des métaux lourds sur 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 (**Augusto Costa AC, 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.

7. Toxicité des métaux lourds sur les plantes:

Les éléments naturellement présents dans les sols dont certains sont indispensables aux plantes, font partie des oligoéléments et des éléments Traces.

Certains ETM, comme le zinc, sont des oligoéléments pour les organismes vivants. Mais, à fortes concentrations, ils deviennent tous toxiques. Chez les plantes, cette toxicité est due à plusieurs raisons.

Le zinc est un élément essentiel chez les plantes. Il intervient principalement sous sa forme d'oxydation Zn^{2+} . Sous cette forme, le zinc limite le transfert d'électrons et donc la formation de radicaux libres (**Sinclair et al. 2012**). Il peut avoir un rôle de cofacteur catalytique ou structurel (du domaine en «doigts de zinc») dans une majorité d'enzymes et de protéines. Le cuivre intervient comme cofacteur au sein d'enzymes ayant un rôle dans la photosynthèse et dans la respiration. Il est, entre autres, impliqué dans la distribution des sucres, la réduction de l'azote et dans la fixation de l'oxygène.

Le nickel est essentiel pour les plantes mais sa concentration dans la plupart des espèces végétales est très faible (0,05–10 mg/kg M.S.). Le nickel est également important dans certains processus métaboliques (uréolyse, métabolisme de l'hydrogène, biogénèse du méthane et a cétogénèse) (**Vamerali et al, 2010; Sanchez-Pardo et al, 2012**).

Cependant, en quantité trop importante, tous les ETM deviennent toxiques.

Les métaux lourds affecteront négativement l'absorption et le transport des éléments essentiels, perturberont le métabolisme et auront un impact sur la croissance et la reproduction (**Xu et Shi 2000**). Métabolisme et ont un impact sur la croissance et la reproduction (**Xu et Shi 2000**).

Le taux de germination et le taux de croissance de l'orge ont diminué, par exemple en cas de pollution par le Cd, et le déclin était lié à la dose et à la durée. Le taux de germination était inférieur à 45 % et la croissance des racines était stagnante sous un traitement au Cd de 10⁻² mol/L (**Zhang 1997**).

Les plantules de haricots sont devenues brunes et sont mortes sous l'effet d'un stress au Cd (**Mo et Li 1992**)

Le cadmium est l'un des métaux les plus toxiques chez les plantes. Le mercure interfère avec leur croissance de même que le plomb qui provoque des chloroses. Le chrome est aussi responsable des chloroses et des nécroses. L'arsenic inhibe la germination et leur croissance.

8. Mobilité et biodisponibilité des éléments de traces dans les sols :

Dans le sol, les ETMs sont distribués entre la phase solide et la phase liquide qui le constituent. Cette distribution dépend de la spéciation des ETMs c'est-à-dire d'une part, de la forme chimique sous laquelle ils ont été apportés au sol et d'autre part, des propriétés physico-chimiques ainsi que des espèces présentes dans le sol.

Le plus souvent, la proportion d'ETMs présents dans la solution du sol ne représente qu'un infime pourcentage de la quantité totale de ces éléments. Les ETMs se concentrent donc dans la fraction solide du sol, où ils se répartissent entre fraction organique (matière organique) et minérale (argiles, oxydes). En fonction de leur spéciation, les ETMs sont plus ou moins mobile

III/ Phyto-remédiation de métaux lourds du sol :

1. Définitions:

Connue sous le nom de phyto-remédiation « phyto » = plante et « remedium » = rétablissement de l'équilibre, remédiation, la phyto-remédiation est définie comme l'utilisation de plantes pour extraire ou transformer les polluants organiques et aussi inorganiques (plus particulièrement les métaux lourds) (**Salt et al, 1998**)

2. Les différentes méthodes de la phyto-remédiation :

- a) La phyto-volatilisation (volatilisation des polluants par les plantes)
- b) La phyto-extraction (accumulation des polluants dans la biomasse récoltable),
- c) La phyto-stabilisation (diminution de la mobilité des polluants par les racines et la rhizosphère),
- d) La dendroremédiation (utilisation d'arbres), ou la rhizo-remédiation qui utilise des plantes et des microorganismes associés à la rhizosphère (**Abhilash et al, 2012**).

Les plantes utilisées peuvent être des espèces hyper-accumulatrices qui stockent de grandes quantités d'ETMs (plus de 100 mg/kg de poids sec de Cd, ou plus de 1000 mg/kg de poids sec de Ni, Cu, ou Pb, ou plus de 10 000 mg/kg de poids sec de Zn ou de **Mn ; Baker & Brooks, 1989**) mais ces plantes ne produisent pas suffisamment de biomasse pour rendre le processus de phyto-remédiation efficace sur le terrain.

Phyto-remédiation des sols contaminés Dû à sa capacité de stabiliser les sols et sa tolérance aux concentrations élevées d'oligo-éléments dans le milieu de croissance, il est possible

d'appliquer *A. halimus*, dans la remédiation des sols contaminés par les oligo-éléments (Mendez et Maier, 2008).

Plusieurs études ont permis de souligner le caractère promoteur de l'espèce qui a montré de grandes capacités d'absorption de certains cations métalliques tels que le cadmium (Cd), zinc (Zn), plomb (Pb) (Lutts *et al.*, 2004 ; Belarbi, 2008), fer (Fe), manganèse (Mn) et aluminium (Al) (Voorhees, 1990). En revanche, cette espèce apparaît particulièrement sensible au cuivre (Cu) (Belarbi, 2008; Martinez *et al.*, 2007).

3. Les halophytes et la phyto-remédiation :

Les halophytes sont un groupe de plantes qui sont réparties dans une variété d'habitats salins, qui comprennent des marais salants intérieurs (playa) ou côtiers (sebkha), des dunes, des déserts, des sebkhas et des playa, entre autres. Non seulement les habitats occupés par les halophytes sont variés, mais aussi leurs habitudes.

Les halophytes représentent environ 1 % de la richesse végétale mondiale et occupent une multitude de biotopes salins, généralement des écosystèmes côtiers comme les plages, les rivages rocheux, les marais salants, les estuaires et les lagunes, mais aussi les dépressions salines et les déserts intérieurs (Garcia *et al.*, 2000; Flowers et Colmer, 2008; Hasanuzzaman *et al.*, 2014; Khan *et al.*, 2014, 2016; Ozturk *et al.*, 2014, 2016, 2019b,c; Garcia et Franca, 2021) Il est bien entendu que les halophytes ont plus d'un mécanisme de tolérance contre la salinité et ce trait a été utilisé dans certaines études de recherche pour l'amélioration des cultures (Flowers et Muscolo, 2015). De plus, on sait aussi que les halophytes sont mieux adaptés pour surmonter l'accumulation de métaux lourds que les glycophytes (Anjum *et al.* 2011; Manousaki et Kalogerakis, 2011) En raison de leur capacité d'adaptation à survivre dans des conditions extrêmes, les halophytes font l'objet d'études approfondies et donnent de meilleurs résultats pour la phyto-remédiation que les espèces sensibles au sel (Manousaki et Kalogerakis, 2011b). Ils peuvent absorber de grandes quantités de métaux lourds, ce qui se traduit par un environnement plus durable avec des caractéristiques environnementales appropriées (Christofilopoulos *et al.*, 2016; Santos *et al.*, 2015; Santos *et al.*, 2017).



Chapitre II:
Les Atriplexes

Les Atriplexes :

1. Définition:

Les *Atriplex* sont des plantes halophytes. Elles sont dotées d'une série de caractères écologiques et physiologiques permettant la croissance et la reproduction dans un environnement salin.

L'*Atriplex* vit spontanément dans les étages bioclimatiques arides et semi arides où les plus grandes superficies correspondent aux zones dites steppiques (Batna, Biskra, Boussaâda, Djelfa, Saida, Tébessa et Tiaret) (**Pouget, 1980**).

IL existe quelques voies importantes de la classification des halophytes; l'origine de l'évolution des halophytes ainsi que leur distributions globales, qui sont fortement discutées. (**Jelte Rozena 1996**).

2. Répartition :

2.1.D'ans le monde :

Tableau 05 : Nombre approximatif des espèces d'*Atriplex* dans divers régions et pays arides et semi arides du monde (**le Houérou1992**)

Pays et région	Nombre d'espèces et sous espèces	Pays ou régions	Nombre d'espèces et sous espèces
Etats Unis	110	Baja Californie (Mexique)	25
Australie	78	Afrique du nord	22
Bassin Méditerranéen	50	Texas	20
	40	Afrique du sud	20
Europe	40	Iran	20
URSS	36	Syrie	18
Proche orient	35	Palestine /Jordanie	17
Mexique	35	Algérie /Tunisie	17
Argentine	32		16

Californie		Bolivie/Pérou	
Chili	30		

(In mallem ,2002)

2.2.En Algérie:

Le genre *Atriplex* vit spontanément dans les étages bioclimatiques arides et semi arides où les plus grandes superficies correspondent aux zones dites steppiques (Batna, Biskra, Boussaâda, Djelfa, Saida, Tébessa et Tiaret) (Pouget, 1980).

Le haut-commissariat algérien au développement de la steppe (H.C.D.S.) et dans le cadre du programme Synthèse bibliographique 8 d'amélioration des parcours steppiques, a introduit, à partir de 1985, les espèces d'*Atriplex* suivantes :

A. lentiformes S.Wats et, *A. canescens* (purch) : originaires des USA

A. nummularia Lindl. Subsp *nummularia*: originaire d'Australie, pour leur double intérêt à savoir : lutter contre l'érosion et améliorer les ressources fourragères.

Le genre *Atriplex* se rencontre également sur les littorales et même au Sahara, au Hoggar, et particulièrement dans les régions de Bechar où les nappes logent les dépressions d'Oued (Rahmoune et al, 2000).

2.2.1. Les espèces annuelles :

- a) *Atriplex chenopodioides* Batt : espèces très rare localisées à Bouhanifia près de Mascara.
- b) *Atriplex dimorphostegia* Ka et Kir : assez commune au Sahara septentrional et rare au Sahara central.
- c) *Atriplex hastata* L : assez commune dans le tell et très rare ailleurs.
- d) *Atriplex littoralis* L : rare, se trouve aux environs d'Alger.

3. Taxonomie:

Les plantes du genre *A triplex* sont présentées dans la plupart des régions du globe. Elles appartiennent à la famille des *Chénopodiacées*, qui fait elle-même partie de la classe des dicotylédones et se caractérisent par leur grande diversité (kinet et al, 1998). Selon (Koucheki, 1996) le nombre total des espèces d'*Atriplex* est estimé à 400. Certaines sont herbacées, d'autres arbustives; elles peuvent être annelle ou pérennes (Mesbah, 1998) Choukr- Allah, (1996), précise que le genre Atriplexe inclut 48 espèces et sous espèces dans le bassin méditerranéen.

Tableau 06 : Classification botanique d'espèces *Atriplex halimus* L. (Quezel et Santa, 1962 ; Dupont et Guignard, 2007)

Règne	Végétal
Embranchement	<i>Phanérogames ou Spermaphytes</i>
Sous Embranchement	<i>Angiospermes</i>
Classe	<i>Dicotylédones</i>
Sous Class	<i>Pré astérides</i>
Ordre	<i>Caryophyllades</i>
Sous Ordre	<i>Chénopodiacées</i>
Famille	<i>Amarantacées</i>
Genre	<i>A triplex</i>
Espèce	<i>Halimus</i>

4. Nomenclature:

- ✧ **En arabe :** G'taff, (Legtaf) en Algérie (Longuo *et al* ; 1989), Chenane en Maroc (Aboura, 2005), Aramass (Quezel et Santa, 1962), Hachichat Ezzaj, Ghassoul el Aachebi (Halimi, 1997)
- ✧ **En français :** pourpier de mer ,Arrouche maritime ,Arrouche sauvage , Arrouche halime (picard *et al* ., 1982) , épinard de mer , nommé localement dans le sud de la France « Blanquette »
- ✧ **En Anglais :** Saltbush. Méditerranéen, Saltbush (Ortiz -Dorda *et al* ; 2005) Roghataa, Cape saltbush, Brakbos, Brak vaalbos, Soutbos, Vaalbose, Aalbark (Anonyme, 2000)

In (Lydia)

5. Caractéristiques générales:

Ce sont des arbustes qui poussent extrêmement bien dans le bassin méditerranéen, sur les sables maritimes du littoral ou à l'intérieur du pays sur les étendues salées autour des Sebkhass (EDMOND, 1963). Ces plantes en forme des touffes de 0.5 à 3 m de diamètre et de 0.5 à 3 m de hauteur et dont les fruits sont des akènes regroupés en glomérules (BENREBIHA, 1987) qui peuvent fournir entre 310 grammes et 1720 grammes/100pieds selon l'espèce. Leur composition chimique varie selon l'espèce, la saison et les conditions pédoclimatiques.

Tableau 07 : Composition chimique de quelques arbustes d'Atriplex (% de matière sèche)
(A.C.S.A.D, 1999)

Composition Chimique Noms scientifique	MS(%)	Cendres (%)	Fibres (%)	ENA (%)	PB (%)
A halimus MF					
MS	24	47	4.5	9.4	4.6
	100	19.8	18.8	39.5	19.2

II/ *A triplex halimus* :

1) Définition:

Atriplex halimus L., également connu sous le nom de salicorne méditerranéen, et localement sous le nom de "Lgtef", une plante halophyte.

Atriplex halimus est un arbuste autochtone, dont l'intérêt fourrager pour les zones arides et semi-arides a été signalé par de nombreux auteurs (LE HOUÉROU, 1992 et 2000 ; ABBAD et BENCHAAABANE, 2004 ; ALOWAIMER *et al*, 2011 ; NAJAR *et al*. 2011). Son intérêt fourrager s'explique par son contenu élevé en matière azotée, son adaptation à la sécheresse et à la salinité, le maintien de son feuillage vert durant toute l'année, et par sa tolérance au pâturage (NEFZAOUI et CHERMITI, 1991).

2) Morphologie :

A triplex. Halimus est un arbuste pérenne dressé, pouvant atteindre 3 m de hauteur, ramifié dès la base, dont l'écorce est de couleur gris-blanc, et dont les feuilles mesurent 10-30 mm de long et (5-20 mm) de large.

Les feuilles ont une forme très variable, allant de deltoïde-orbiculaire à lancéolée, et sont atténuées à la base avec un pétiole court.

Bien qu'e *L' halimus* soit une plante à feuilles persistantes, certaines feuilles sont perdues pendant les étés chauds et secs typiques de son aire de répartition. (Franclét et Le Houérou 1971).

Les fleurs sont monoïque, inflorescence en panicule d'épis, terminal nues.

La valve fructifère cornée à la base. La graine est d'une teinte roussâtre (Mesbah ,1998).

3) Utilisations :

En médecine traditionnelle, *A. halimus* est utilisé pour traiter un grand nombre de maladies telles que:

L'inflammation, les mains craquelées, la régulation des hormones, les maladies cardiaques, le diabète et les rhumatismes.

Les organes de l'*A. Halimus* sont utilisés pour l'alimentation du bétail notamment les moutons et les chèvres au sud et à l'est du bassin méditerranéen (Maroc, Espagne, Algérie, Tunisie, Libye, Égypte, Palestine occupée, Liban), il constitue un fourrage très appétant idéal en période de disette. Plusieurs travaux montrent qu'*A. Halimus* peut couvrir les éléments nutritifs essentiels pour le cheptel, elle présente une quantité importante de fibres (352g/kg de MS) et peut être utilisée comme supplément dans l'alimentation des chèvres et améliorer aussi le ratio fourrage/concentré.

Atriplex halimus présente un grand intérêt comme plante fourragère dans les régions arides et semi-arides en raison de sa rusticité, sa bonne valeur fourragère, sa résistance élevée à la sécheresse et sa faculté de tolérer des taux de salinité importants.

4) Physiologie de *L'Atriplex* :

Atriplex halimus est un arbuste halophyte présentant une photosynthèse en C4 (**MARTINEZ et al. 2003**). Les plantes en C4 possèdent des caractéristiques anatomiques leur permettant un métabolisme à haute efficacité photosynthétique (augmentation du taux de CO₂). L'anatomie foliaire des plantes en C4 est de type « Kranz », présentant une gaine de cellules de grandes dimensions qui entourent les tissus vasculaires. Les plantes en C4 ont une meilleure efficacité d'utilisation de l'eau que les plantes en C3 en conditions de sécheresse et de température élevées (**MARTINEZ et al. 2003**).

5) Ecologie:

Sur le plan climatique, *A. halimus* subsp. *Schweinfurthii* résiste bien aux gelées jusqu'à des minima en janvier voisins de -12°C, notamment dans les hautes plaines steppiques de l'Algérie (**LE FLOC'H, 1989**). **FRANCLET et LE HOUÉROU (1971)** indiquent que cette sous-espèce peut même se développer sous des pluviosités de 50 à 100 mm/an lorsque les sols comportent une nappe phréatique ou reçoivent un appoint d'eau de ruissellement. Cette sous-espèce se développe encore normalement dans les sols dont la conductivité de l'extrait de saturation atteint 5 à 100 dS/m dans les horizons de surface et 20 à 35 dS/m dans les horizons profonds (**Nedjimi et Daoud, 2008 et 2009 a**).

6) Ecophysiologie de L'*Atriplex halimus* :

Des études physiologie sur les halophytes montrent que ces plantes sont dotées de mécanismes d'adaptation particuliers, nécessaires pour leur croissance et reproduction, bien qu'ils soient physiologiques, morphologiques ou comportementaux, ces mécanismes et adaptation, par leurs actions singuliers ou combinées assurant l'existence dans des environnements sévères **(Batanouny, 1996)**.

6.1. Mécanismes d'évitement

Le terme évitement est utilisé en deux sens : le premier inclut l'échappement au stress dans le temps (croissance pendant des périodes favorables) et dans l'espace (dans des horizons ou sites favorables). L'autre utilisation du terme inclut la protection des tissus des plantes des effets du stress **(Batanouny, 1996 ; Gorham, 1996)**.

6.2. Mécanismes d'évasion

Concerne les actions suivantes **(Batanouny, 1996) :**

- ✓ La sélectivité contre Na⁺, Cl⁻.
- ✓ Divergence des sels hors des tissus assimilateurs.
- ✓ La compartimentation des sels à l'intérieur des organes tissus et cellules des plantes.
- ✓ Retranslocation des sels vers les racines puis leur exclusion.
- ✓ L'excrétion des sels par les glandes à sel ou bien par les poils vésiculeux.
- ✓ Production des racines adventives.

6.3. La tolérance

Il s'agit des actions suivantes **(Ben Ahmed, 1995 ; Batanouny, 1996) :**

- ✓ L'accroissement de la résistance des cellules, tissus et organismes aux sels.
- ✓ La production des protectants (protecteurs osmotiques qui préservent structures cellulaires pendant le stress).
- ✓ Adaptation spécifique des ions du cytoplasme.
- ✓ Ajustement osmotique.
- ✓ Augmentation de halo-succulence : la succulence de la tige et des feuilles.



Partie II:
Matérielle et Méthode

1. La situation géographique de la région d'étude :

La région d'étude fait partie des zones semi-arides de l'Algérie avec des précipitations inférieures à 400 mm par an. Cette zone est située à une cinquantaine de kilomètres au Nord de la ville de Tébessa et à 260 km de la mer Méditerranée, à la limite de la frontière Algéro-Tunisienne. Elle appartient entièrement au bassin versant saharien et fait une partie intégrante des hauts plateaux qui constituent un réseau serré de montagnes de moyenne à forte altitude plus ou moins séparées par des dépressions. Elle s'étend sur presque 140 Km² depuis Morsott au Sud jusqu'à El Aouinet au Nord.

Géographiquement la zone étudiée est située à l'extrême Nord-est de l'Atlas saharien, entre les coordonnées suivantes : 7° 45' - 8° 00' E de longitude et 35 ° - 45 ° N de latitude. Elle est délimitée par Djebel Mesloula, Djebel Boukhadra à l'Ouest et à l'Est, et par Djebel Guelb et El Gountas au Nord et une frontière administrative au Sud, (Ghalmi 2019).

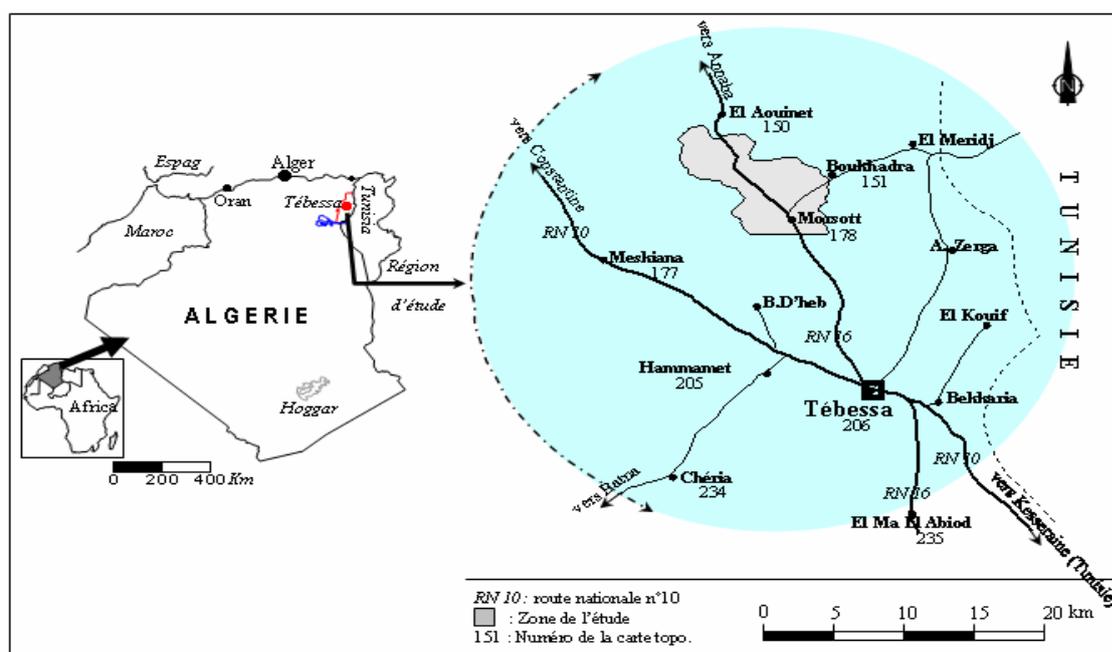


Fig. 01- Situation géographique de la région d'étude

Figure 01 : Situation géographique de la région d'étude

Cette zone est limitée au Nord par la ville d'El Aouinet, au Sud se trouve le bassin d'effondrement Tébessa-Morsott, à l'Est cette zone d'étude est limitée par la commune de Boukhadra et à l'Ouest par le bassin de Meshiana (Figure 1).

La région d'étude couvre le fossé tectonique Plio-quaternaire qu'emprunte sur tout son cours, le lit de l'Oued Chabro. Ce fossé sépare à l'Ouest par le diapré de Argoub Zembai du diapré de Boukhadra à l'Est. Ce large fossé d'effondrement est entouré par des massifs calcaires. Au Nord on trouve, Djebel Mesloula, à l'Est Djebel Guelb, El Gounatas et Djebel Boukhadra, Belkfif et Argoub Zembai constituent le reste des limites.

La région d'étude présente l'allure d'une dépression sous forme d'une cuvette. Son altitude varie entre 690m (au centre de la cuvette) et 1400m vers le Sud de la région étudiée (le sommet le plus haut de la région est le Djebel Boukhadra situé à l'Est et qui présente une altitude de 1402m). (Ghalmi 2019).

La partie centrale de la région est constituée d'un fossé tectonique enserré par des montagnes escarpées à l'est et à l'ouest (**Figure. 2**).

Les reliefs se caractérisent, du Nord au Sud, par leur organisation en éléments quasiment parallèles, que l'hydrographie a souvent entrecoupés de façon perpendiculaire.

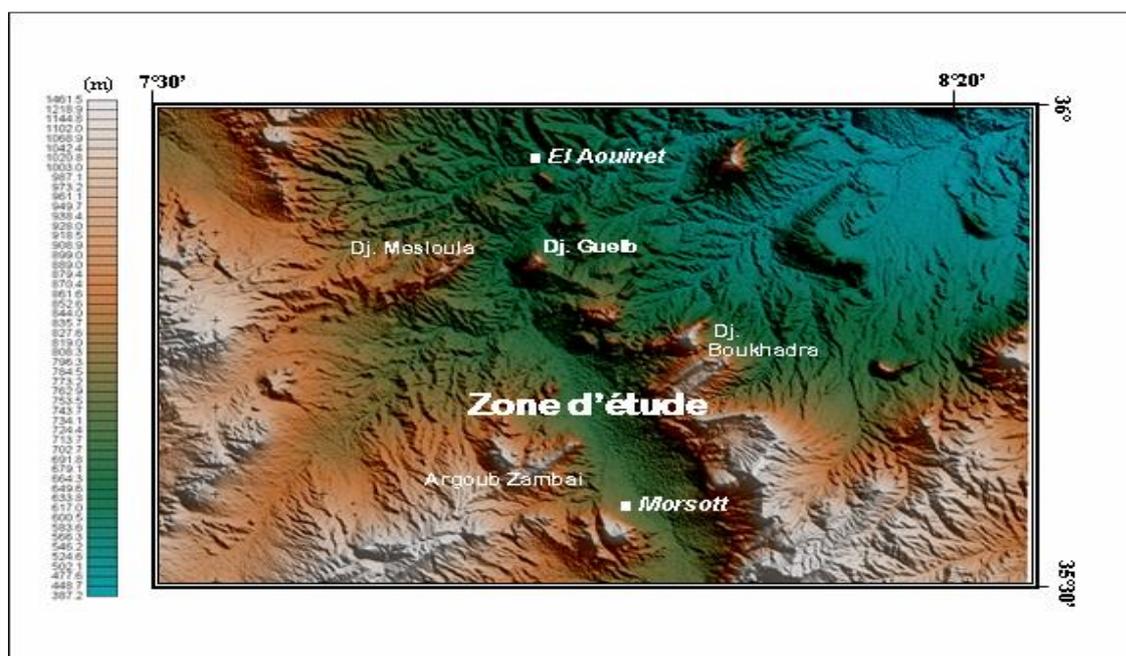


Figure 2 : Carte topographique de la région d'étude (digitalisée par l'O.R.G.M sur Mapinfo à partir des cartes topographiques au 1/50000)

2. Le couvert végétal de la région d'étude :

Le paysage végétal de la région est très dégradé, ce qui entraîne une grande perte d'eau causée par le phénomène de l'évapotranspiration.

La végétation sous son aspect purement botanique ou phyto géographique, mais sous son aspect de couverture du sol est plus ou moins modifiée par l'homme. Nous en adaptons

donc la présentation afin de distinguer les différents types de végétation.

La partie septentrionale de la région d'étude est relativement humide et par conséquent les forêts sont un peu denses ; mais les parties cultivables sont souvent basses et plus sèches. La ligne de crête appelée souvent la haute chaîne est marquée souvent par une pluviométrie moins importante, les forêts sont à base de pin d'Alep, de Dis, de lentisques et les chaînes vertes épineux constituent un véritable maquis surtout à Djebel Boukhara, Hod Seghir et Hod Kebir (Fehdi, 2008).

Tableau 08 : Caractéristiques des espèces étudiées

Espèces	Origines	Description	Conditions écologiques	Mise en culture	Valeur fourragère
<i>Atriplex Halimus</i>	Sud de l'Europe	Arbuste ; touffes très denses ayant blanc argenté. Feuilles alternées et assez grandes. Fleurs monoïques, de couleur jaunâtre, réunie en épis.	Climat : *Précipitations de 150 à 1000 mm * M : 30.3 à 30.8°C ; * m : 6.8 à 7.7°C. Sol marneux et limoneux compacts profonds. Semi-aride, pré saharien Altitude de 0 à 1 500 m.	la transplantation d'octobre à mars en ligne, écartements de 5 × 2 m, densité de 1000 pieds/ha. Profondeur du trou : 50 à 60 cm La production 1000 à 2000 UF/ha/an.	à 0.56 UF/Kg MS. Sa teneur en protéine brute varie de 12 à 18 % par Kg de matière sèche.

3. L'hydrographie de la région d'étude :

Le réseau hydrographique est bien développé et représenté avec des petits cours d'eau temporaires aux larges vallées bien élaborées, se déversant dans des grands oueds dont les plus importants sont oued Mellegue et oued Chabro (**figure 3**).

L'oued Chabro coule le long de la partie d'étude, il a un écoulement pérenne, il est soutenu principalement par le système aquifère de la zone d'étude, son écoulement est lié aussi aux précipitations, notamment orageuses, qui coïncident avec la fin du printemps et de l'été, l'écoulement du système hydrographique se fait du Sud vers le Nord, caractère typique des oueds de toute la région. Tous les affluents ont un écoulement temporaire très limité, à la suite

de fortes précipitations orageuses. L'écoulement du système hydrographique se fait du Sud vers le Nord, caractère typique des oueds de la région.

Les fortes valeurs de débit ont été enregistrées au niveau de la station d'El Aouinet, cela est dû à la contribution des eaux d'oued Meskiana qui constitue un apport supplémentaire où sa jonction avec oued Chabro donne naissance très en aval à l'oued Mellegue.

L'évolution des débits mensuels interannuels et les précipitations montrent une incohérence très nette où seul le mois de décembre semble présenter des chroniques de précipitations et de débits cohérentes.

En général les écoulements à travers la région d'étude présentent des particularités à système pluvial orageux dans son ensemble, régis par des modes d'alimentation, et des conditions de rétention et restitution qui sont à l'origine des écarts entre les impulsions de débits et les hauteurs de pluies.



Figure 3 : Photo satellite montrant les différents oueds de la région d'étude (Source : Google Earth 2023)

L'apport de oued Chabro est très faible où on note un accroissement de la lame d'eau d'amont en aval.

Tous les affluents ont un écoulement temporaire très limité, à la suite de fortes précipitations orageuses. L'écoulement du système hydrographique se fait du Sud vers le Nord, caractère typique des oueds de la région.

Les fortes valeurs de débit ont été enregistrées au niveau de la station d'El Aouinet, cela est dû à la contribution des eaux d'oued Meskiana qui constitue un apport supplémentaire où sa jonction avec Oued Chabro donne naissance très en aval à l'oued Mellegue.

L'évolution des débits mensuels interannuels et les précipitations montrent une incohérence très nette où seul le mois de décembre semble présenter des chroniques de précipitations et de débits cohérentes.

En général les écoulements à travers la région d'étude présentent des particularités à système pluvial orageux dans son ensemble, régis par des modes d'alimentation, et des conditions de rétention et restitution qui sont à l'origine des écarts entre les impulsions de débits et les hauteurs de pluies.

4. Climatologie de la région d'étude :

Le climat est un phénomène naturel qui influe d'une manière directe ou indirecte par ses différents paramètres sur les propriétés physico-chimiques et mécaniques des roches et des sols, notamment par l'abaissement de leurs résistances et ceci par altération, saturation...etc.

Ils jouent un rôle important dans le régime hydrologique des cours d'eau et dans l'alimentation des eaux souterraines. Cela prouve la relation étroite entre la climatologie et la géotechnique.

Un climat semi-aride par exemple, caractérisé par un hiver très froid et un été très chaud et sec, aboutit à des phénomènes de retrait de glissement des sols argileux. Les périodes de sécheresse étalées sur plusieurs mois de l'année hydrologiques, vont contribuer à la perte considérable de l'eau des interstices des argiles, et donc leur retrait, ce qui va produire des glissements par la suite.

Tableau 09 : Station géographique

Nom de la station	Altitude Z(m)	Longitude X (km)	Latitude Y (km)	Période d'observation
Tébessa	890	991.9	247.2	2022- 2023

5. Paramètres climatologiques:

A. Précipitation :

La précipitation est un facteur fondamental pour caractériser le climat d'une région. Elle conditionne l'écoulement saisonnier ainsi que les régimes de cours d'eau. La pluviosité augmente avec l'altitude et diminue à mesure de s'éloigner de la mer.

-Variation mensuelle de la précipitation :

Pour expliquer l'appartenance à une région à faible précipitation atmosphérique, il est nécessaire d'analyser les données pluviométriques de la région sur une série d'observations bien déterminées.

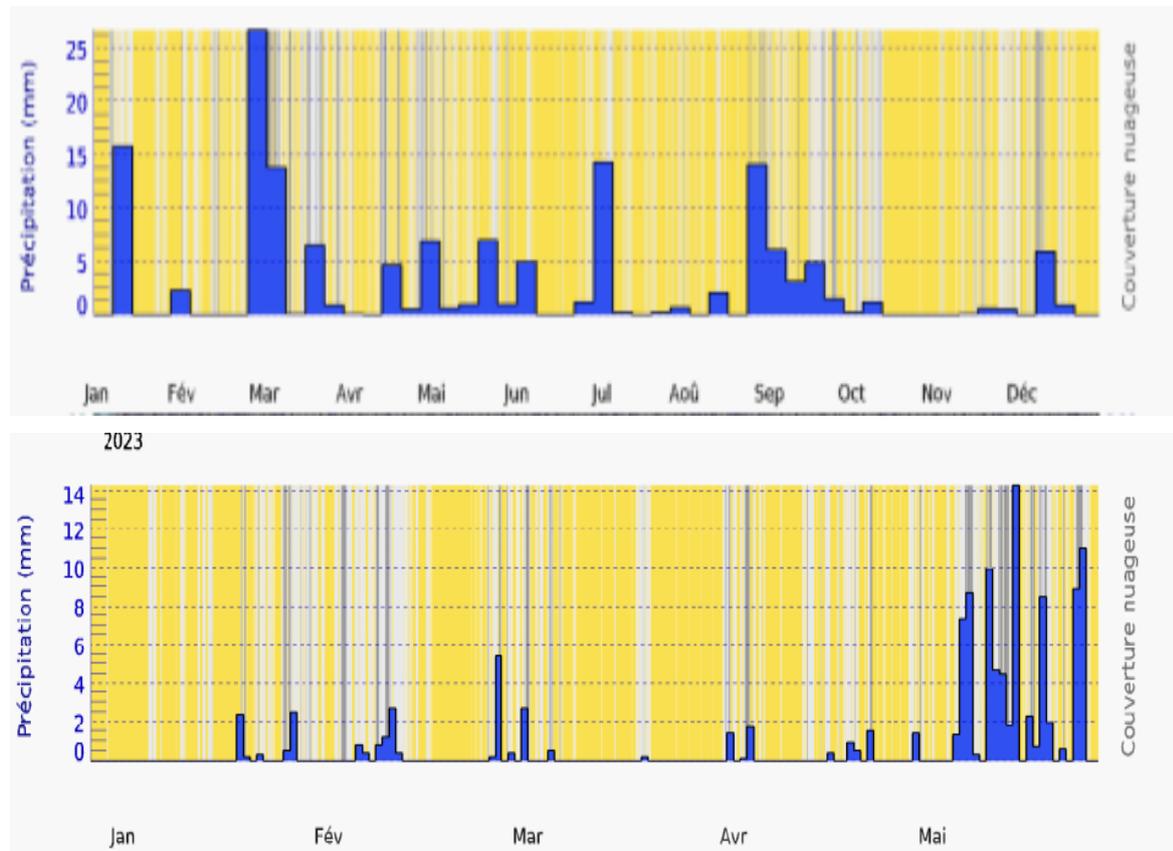


Figure 4 : Variations des précipitations de L'année 2022 / 2023 météoblue.com

Le Précipitations moyennes mensuelles est représentée dans le tableau ci-dessous :

Tableau 10 : variations de Précipitations mensuelle 2022 /2023

Mois	Jan	Fév.	Mar	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sep	Oct.	Nov.	Déc
P (mm)	16	3	25	8,5	32	6,5	13	2	15	3	0	3

Jan	Fév.	Mar	Avr.	Mai	Juin	Moye
0	3	5	1,9	14	/	8,87

- ✓ Nous ne constatons que le maximum de pluie à La période du 1 janvier 2022- 31 Mars 2023 au mois de Mai 2022 (32 mm) et le minimum de pluie au mois de Novembre 2022 et janvier 2023 (0 mm).

B. Températures :

La température est un paramètre important, la variation remarquable de la température entre jour et nuit facilite le phénomène de gel et de dégel, ce phénomène contribue dans la désagrégation physique des formations surtout rocheuses.

La température se caractérise par la somme d'énergie qui est en relation avec l'évaporation. Nous avons pris les données de la température de la station de pour Période d'étude (2022/ 2023).

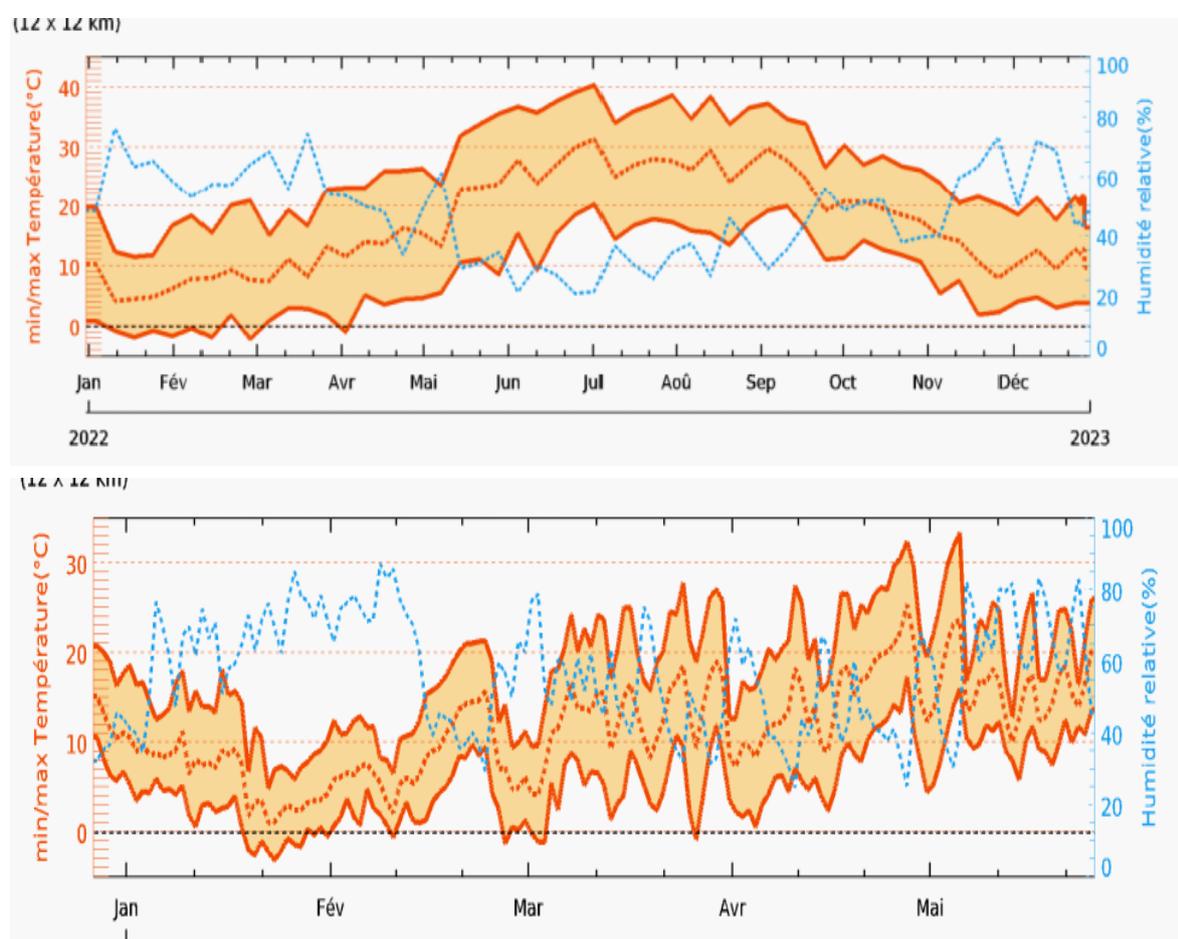


Figure 5 : Variations des Températures de L'année 2022 / 2023 météoblue.com

Variation mensuelle des températures :

Les températures moyennes mensuelles sont représentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 11 : variations de Températures mensuelle 2022 /2023

Mois	Jan	Fév.	Ma	Avr.	Mai	Juin	Juill.	Août	Sep
T (mm)	10	6	8	11	14	26	33	28	29

Oct.	Nov.	Déc	Jan	Fév.	Ma	Avr.	Mai	Juin	Moye
11	7	5	11	7	5	8	13	/	13,64

L'analyse de la courbe des variations des moyennes mensuelles des températures (**Fig. 5.**) montre que :

Décembre 2022 et Mai 20023 c'est le mois le plus froide avec une température moyenne de 5 C°.

Juillet 2022 c'est le moi le plus chaude avec une température moyenne de 33 C°.

C. L'humidité :

L'humidité représente la quantité d'eau retenue dans l'air (comme on a déjà signal avant que la région d'étude appartienne à l'étage climatique semi-aride).

Le rôle de ce facteur c'est qu'il peut faciliter ou bien accélérer le phénomène d'altération chimique à la surface de la terre.

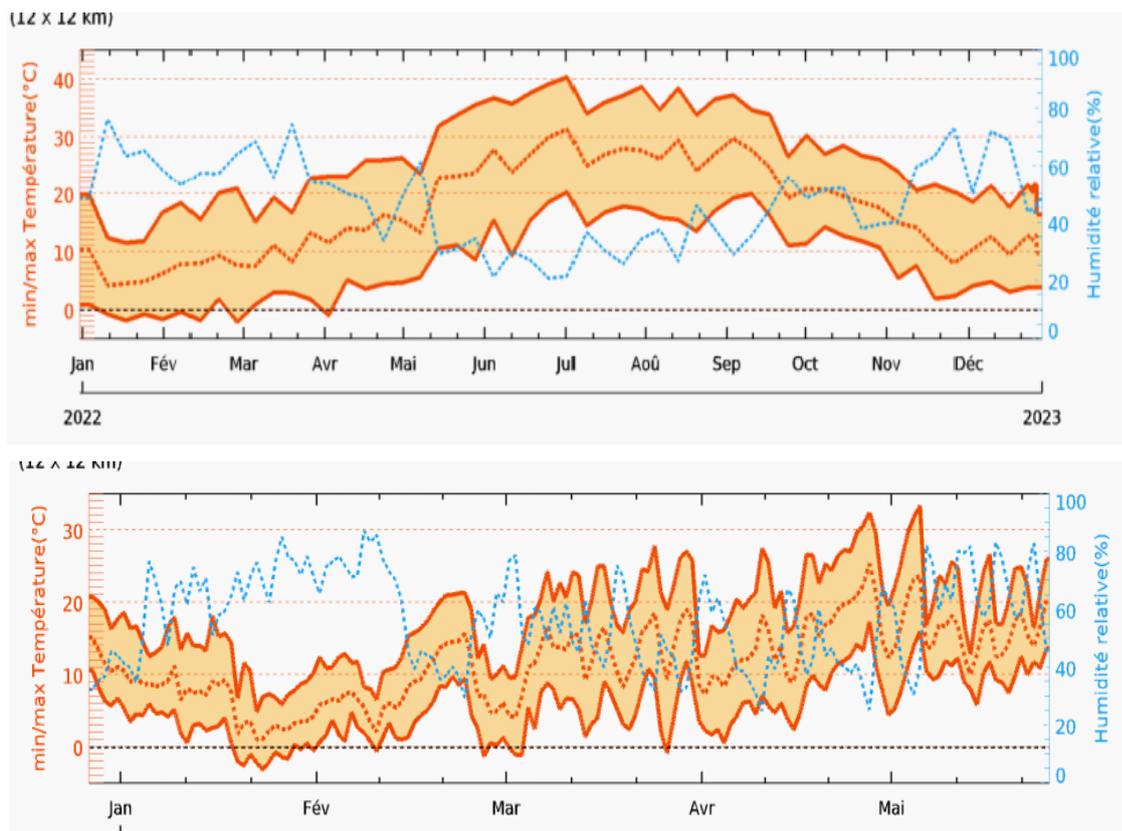


Figure 06 : Variations de L’humidité de L’année 2022 / 2023 météoblue.com

L’humidité moyenne mensuelle est représentée dans le tableau ci-dessous :

Tableau 12 : Moyenne de l’humidité mensuelle 2022 /2023

Mois	Jan	Fév.	Ma	Avr.	Mai	Juin	Juill.	Août	Sep	Oct.	Nov.	Déc
H(%)	33	24	28	22	20	10	6	14	12	20	15	26

Jan	Fév.	Ma	Avr.	Mai	Juin	Moye
11	22	21	25	21	/	19,41

- ✓ Le mois de juillet (2022) étant le mois le plus sec avec un pourcentage moyen de 6 %.
- ✓ Le mois le plus humide est le mois janvier 2022 avec un pourcentage moyen de 33 % :

D. La neige :

Ce phénomène a un rôle très important car les précipitations neigeuses suivies par une lente fonte enrichissent au maximum l'infiltration et par la suite l'imbibition des sous-sols des fondations, et la réaction des phénomènes qui peut être dangereux pour les sols des fondations, nous citons par exemple :

- ✓ gonflement des sols argileux.
- ✓ Lessivage des gypses.
- ✓ Augmentation des niveaux des eaux souterraines (nappe phréatique).....etc.

E. Les vents :

Les vents dans notre région d'étude sont caractérisés par leur direction, leur vitesse et leur intensité, le vent de direction N-S ou le sirocco engendre une forte évapotranspiration et un séchage chassant l'humidité.

F. L'évaporation :

L'évaporation est le phénomène par lequel un liquide est transformé en vapeur ou en gaz. Ce phénomène est étudié par plusieurs expérimentateurs pour déterminer les différents facteurs régissant l'évaporation de l'eau, cette dernière dépend de :

- ✓ La production de chaleur.
- ✓ Le vent.
- ✓ La chaleur emmagasinée.
- ✓ La qualité de l'eau.
- ✓ La pression barométrique.

Au niveau de la station météorologique de Tébessa, l'évaporation est mesurée à l'aide d'un bassin d'évaporation de type « Colorado ».

G. L'évapotranspiration :

L'évapotranspiration est sans doute l'une des données climatologiques les plus difficiles à approcher. Dans le bilan hydrique, elle est le terme le plus important après les précipitations, elle résulte de deux phénomènes : physique « évaporation » et biologique : « transpiration », ce phénomène important du cycle hydrologique est en fonction de plusieurs facteurs : (humidité, température, l'insolation, couvert végétal...).

L'ETP : correspond à l'évapotranspiration d'une surface qui serait suffisamment approvisionnée en eau pour évaporer la quantité d'eau maximale permise par les conditions climatiques (cas des nappes superficielles peu profondes).

L'ETR : évapotranspiration dépend de l'état du stock en eau du sol

6. Lieu et Conditions de l'expérimentation :

Les analyses du sol ont été menées à la faculté de science, département de géologie (Université de Tébessa), l'expérimentation a été réalisée au cours de l'année universitaire 2022/2023.

7. L'échantillonnage :

Une série de prélèvements des échantillons de sol aléatoire ont trouvée quelque échantillons du sol plantée par l'*Atriplex Halimus* et sol sans plantation, dans la région d'étude ; durant le mois mars 2023.

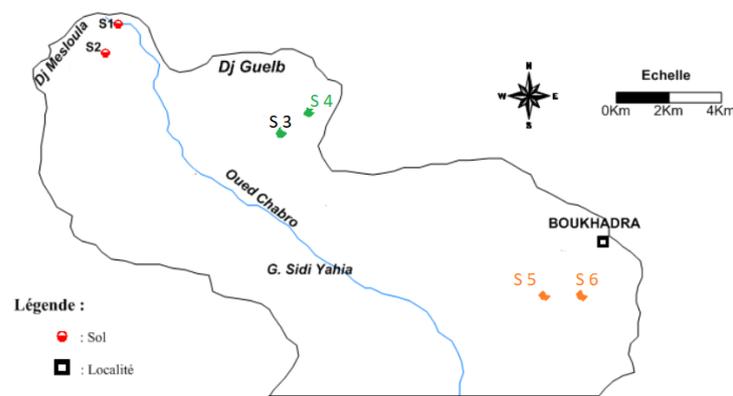


Figure 7: la carte échantillonnages de la région d'étude

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, les prélèvements de sol ont été effectués sur une profondeur de (0-30 cm). 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. Les six échantillons du sol ont été séchés, broyés et tamisés à 2 mm.



Figure 8 : Photo d'échantillonnages des sols

Pour mesurer les taux de métaux lourds des sols, on met habituellement l'accent sur la détermination de la composition ionique de la solution d'un extrait aqueux de sol (**Halitim, 1988**).

Afin de réaliser ce but, les analyses du sol sont effectuées au niveau du laboratoire de département de géologie, Université de Tébessa.

8. Paramètres étudiés:

Les différentes méthodes d'analyses utilisées pour le sol (extrait de pâte saturée) et de l'eau de puits, sur le bilan de salure sont comme suite :

- Conductivité électrique (CE) par l'utilisation de Conductimètre.
- Acidité du sol (PH eau) par l'utilisation de pH-mètre.
- Taux de sel dissous (TDS) et Salinité par l'utilisation de multi-paramètres.
- Métaux lourds, par l'utilisation de spectrophotomètre à Flamme.



Figure 9 : Photo de la Conductimètre

9. Les choix des zones de prélèvement :

La zone d'étude appartenant à l'étage bioclimatique semi-aride a été chaude et sèche caractérisée par une période de sécheresse estivale, on a choisi trois zones de prélèvements.



Figure 10 : Photos de l'espèce d'A triplex de la zone d'étude

10. L'échantillonnage:

Dans l'objectif d'effectuer diverses analyses du sol, les prélèvements des échantillons ont été aléatoire, assez représentative des trois zones de plantation, 6 échantillons de sol ont été prélevés dans la rhizosphère de l'*Atriplex halimus* comparée avec le sol témoin (sol sans plantation d'une profondeur entre 10-20 cm), en raison de deux sorties de prélèvement, la première en mars 2023.

Tous les échantillons de sol ont été prélevé, et mis dans des sachets hermétiques identifiés ; 1000g de sol de l'horizon A sur une profondeur de 18 à 25 cm.

Au laboratoire du département de géologie, les échantillons de sol récoltés ont été étalés sur papier et mis à sécher à l'air libre, dans les conditions où les micro-organismes n'ont pas la possibilité de modifier leurs propriétés.

Cette étape est suivie par une séparation des parties fines et grossières du sol avec un tamis à maille ronde de 2 mm de diamètre. Les analyses ont été portées uniquement sur la fraction fine (diamètre < 2 mm).

11. Étude statistique des données :

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

- ✓ Seul génotype de (*Atriplex halimus*) plus un témoin.
- ✓ Trois zones de plantation.
- ✓ une campagne de prélèvement.

Les moyennes des variables mesurées sur les différentes répartitions ont été soumises à une analyse de la variance à trois critères de classification, utilisant le logiciel **SSPSS V 26**.



Partie III:
Résultats

1. Caractérisation des paramètres physico-chimiques des sols prélevés :

Dans la partie Nord de Tébéssa, le sol s'exprime avec des paramètres différents, on les étudiera de manière générale et on les illustrera par des situations typiques reconnues sur le terrain.

L'étude cartographique détaillée n'a peut-être été réalisée, ce qui aurait permis un recensement plus détaillé des différents types de sol et de leur situation dans le paysage géo-pédologique. Cependant, la prospection de terrain a été longue et minutieuse, ce qui a permis d'observer de très nombreux profils et de présenter une synthèse des types les plus représentatifs.

Tableau 13 : analyses des paramètres des sols prélevés

Sols	CE ($\mu\text{S/cm}$)	TDS (mg/l)	ph	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	Ca ⁺² (mg/l)
1	762	410	6,4	78	670	14
2	1007	577	6,60	105	358	22
3	328	180	7,74	113	299	5
4	150,1	83	7,86	48	354	5
5	132,5	73	7,49	61	164	4
6	130,6	72	6,51	50	240	4

2. L'effet de plantation d'*Atriplex*:

2.1. sur la conductivité électrique (CE) de la solution du sol :

L'analyse de la variance des résultats obtenus sur la conductivité électrique (CE) de la solution de sol, montre que l'effet de l'espèce et la salinité et l'interaction non significative (TAB. 14)

Tableau 14: Analyse de la variance de L'effet d'*Atriplex halimus* sur la conductivité électrique(CE) de la solution de sol

Sources	dl Effet	MC Effet	F Obs.	niveau P
Espèces	1	0	0	0
Salinité	0	0	0	0
Interaction	1	1165,633	0,005	0,947

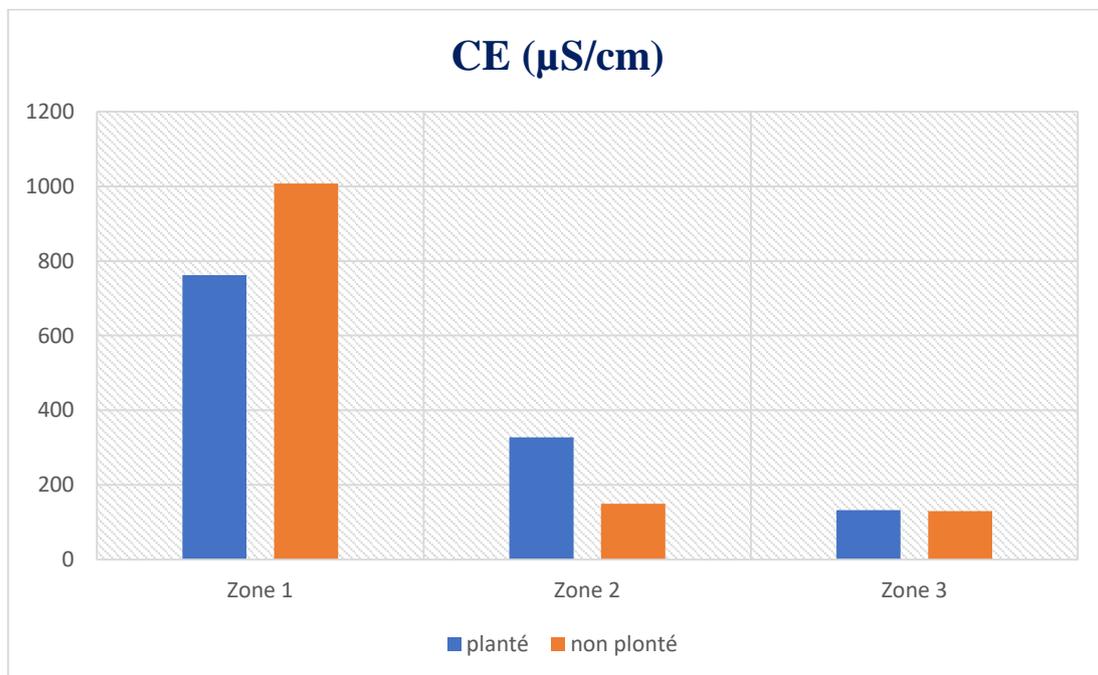


Figure 11: la Moyennes de la Conductivité électrique de la solution du sol d'*Atriplex halimus*

Le courbe d'analyses montre que l'augmentation de la conductivité électrique augmentée dans le sol de la zone 1 par rapport les autres est Soyez régulier aux sols des zones 2 et 3.

L'effet d'*Atriplex. Halimus* est positive sauf au niveau de la zone 1 de valeur 1007 (μS/cm) dans de sol sans plantation éliminée à 762 (μS/cm) de sol plantée.

Les valeurs de la CE obtenues augmentent avec la concentration en NaCl dans le sol (Mathieu et Pultain, 2003).

La conductivité électrique d'une solution de sol est un indice important des teneurs en sels solubles dans ce sol (Rezkallah, Ch 2016).

2.2. Effet sur le taux des sels (TDS):

L'analyse de la variance des valeurs obtenues sur le taux des sels solubles indique que les résultats sont significatifs pour l'interaction (Tab .15)

Tableau 15 : Analyse de la variance de L'effet d'*Atriplex* sur le taux des sels (TDS) de la solution du sol

Sources	dl Effet	MC Effet	F Obs.	niveau P
Espèces	1	0	0	0
Salinité	0	0	0	0
Interaction	4	142416,300	* 6,776	0,060

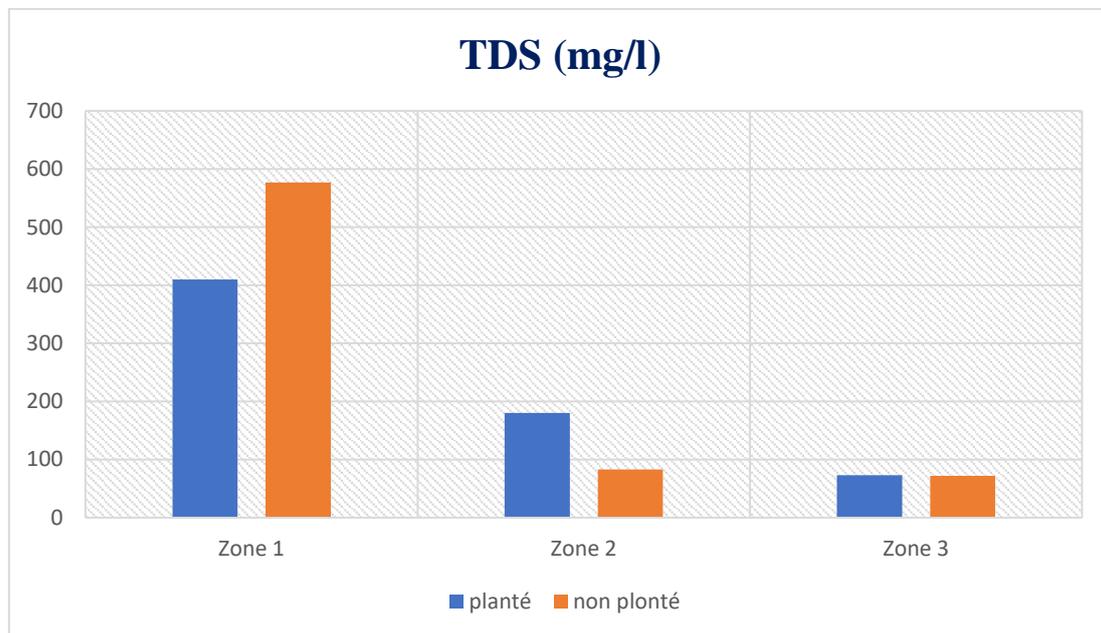


Figure 12 : la Moyennes des Taux de sels soluble de la solution du sol d'*Atriplex halimus*

La comparaison des moyennes indique une augmentation du TDS pour les deux sols planté avec l'espèce par rapport au témoin remarqué que la CE est augmenté avec le TDS dans le

sol de zone 1 et régulier en 2 et 3 C'est pourquoi nous concluons que le pourcentage de CE est élevée Il a augmenté avec elle le pourcentage de TDS.

D'après plusieurs auteurs les plantes *Atriplex* sont stimulées par les doses modérées de NaCl et au fur et à mesure qu'elles se développent, elles se chargent avec les sels absorbés et déchargent simultanément le sol, sur lequel, elles poussent (Edwar *et al.* 1998).

2.3. Effet sur la teneur en Na⁺ soluble

L'analyse de la variance du Na⁺ du sol indique que les résultats non significatifs pour salinité, espèces et l'interaction (TAB. 15)

Tableau 16: Analyse de la variance de L'effet d'*Atriplex* sur la teneur en sodium de la solution du sol

Sources	dl Effet	MC Effet	F Obs.	niveau P
Espèces	1	0	0	0
Salinité	0	0	0	0
Interaction	1	1020,833	1,419	0,299

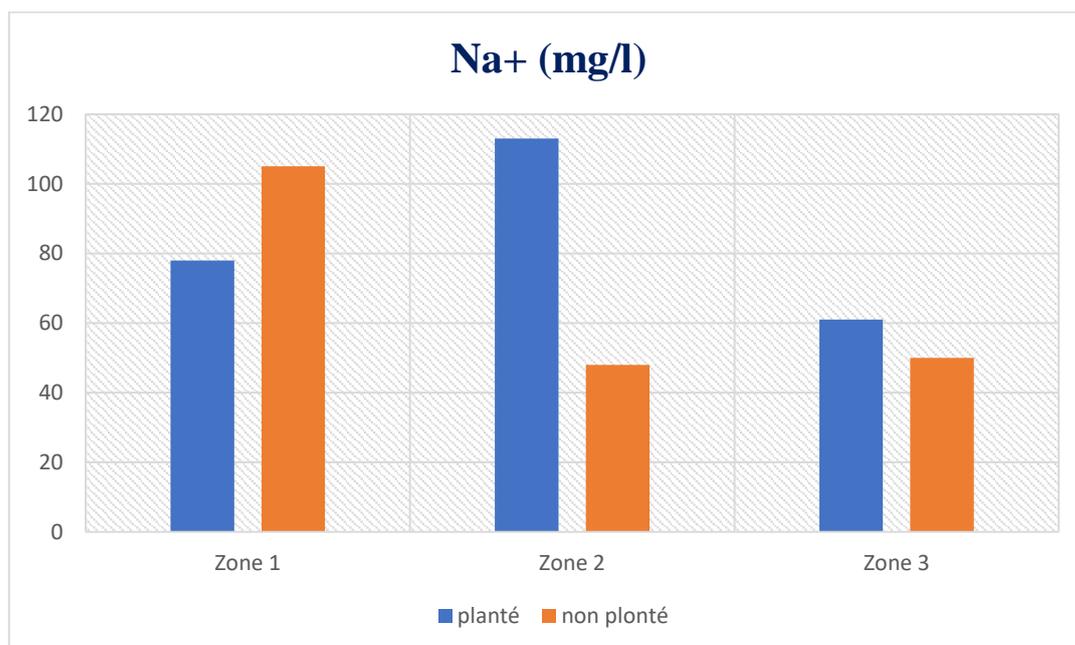


Figure 13 : la Moyennes des teneurs en sodium de la solution du sol d'*Atriplex halimus*+ témoin

L'analyse du courbe montre que le Na^+ est élevée dans le sol de zone 2 après sol de zone 1 et faible dans le sol de zone 3

Le Na^+ est élevé dans le sol planté avec *Atriplex halimus* de zone 2 par rapport au sol sans plante (Témoin).

Les valeurs de la CE obtenues augmentent avec la concentration en NaCl dans le sol (Mathieu et Pultain, 2003).

D'après plusieurs auteurs les plantes *Atriplex* sont stimulées par les doses modérées de NaCl et au fur et à mesure qu'elles se développent, elles se chargent avec les sels absorbés et déchargent simultanément le sol, sur lequel, elles poussent (Edwar *et al.* 1998).

2.4. Effet sur la teneur en K^+ soluble:

L'analyse de variance des valeurs obtenues sur le K^+ dans le sol indique que les résultats non significatifs pour l'interaction espèces et salinité (TAB. 16)

Tableau 17: Analyse de la variance de L'effet d'*Atriplex* sur la teneur en potassium de la solution du sol

Sources	dl Effet	MC Effet	F Obs.	niveau P
Espèces	1	0	0	0
Salinité	0	0	0	0
Interaction	1	132,300	0,003	0,956

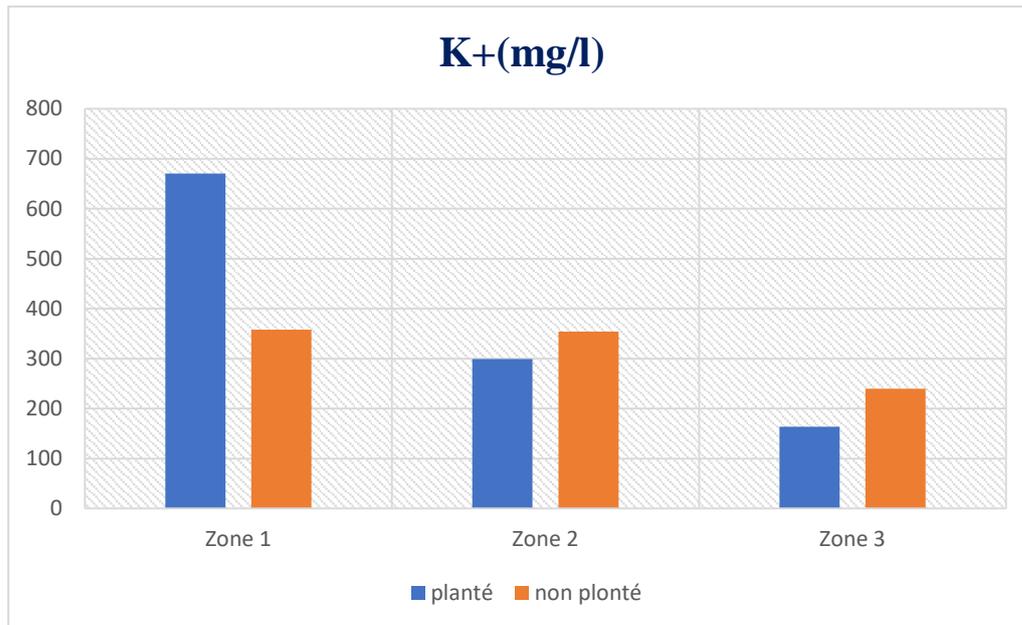


Figure 13 : la Moyennes des teneurs en potasium de la solution du sol d'*Atriplex halimus*+ témoin

L'analyse du courbe montre que l'augmentation du potassium est très élevée dans le sol avec planté de zone 1 et être décroissant par rapport les autres où le point le plus bas dans le sol zone 3.

L'augmentation du NaCl favorise logiquement une augmentation de Na^+ dans le sol, par contre le K^+ diminue par rétrogradation dans le sol avec l'augmentation de sel, il y a une compétition et l'excès de Na^+ réduit la disponibilité du K^+ (**Ben Fattoum, 2003**).

A. halimus est plus résistante aux doses élevées par ce que l'accumulation de Na^+ dans la partie aérienne est un bon indicateur de résistance. (**Rezkallah, 2012**).

2.5. Effet sur la teneur en Ca^+ soluble:

L'analyse de variance des valeurs obtenues sur le Ca^+ dans le sol indique que les résultats sont significatifs pour l'interaction (**TAB. 17**)

Tableau 18 : Analyse de la variance de L'effet d'*Atriplex* sur la teneur en Calcium de la solution du sol

Sources	dl Effet	MC Effet	F Obs.	niveau P
Espèces	1	0	0	0
Salinité	0	0	0	0
Interaction	1	202,800	*11,082	0,029

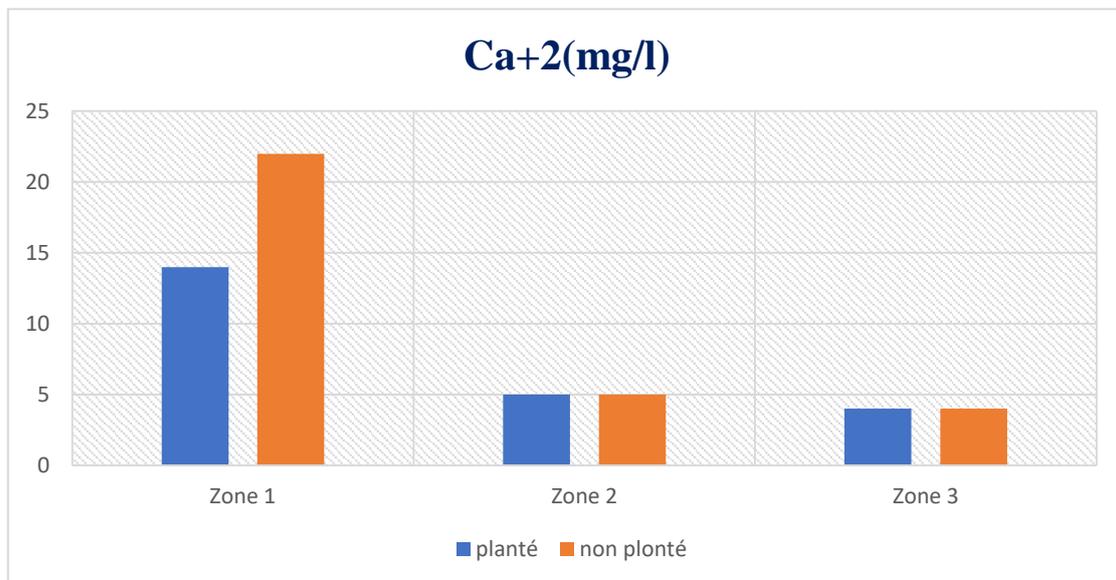


Figure 15 : la Moyennes des teneurs en Calcium de la solution du sol d'*Atriplex halimus* + *Témoin*

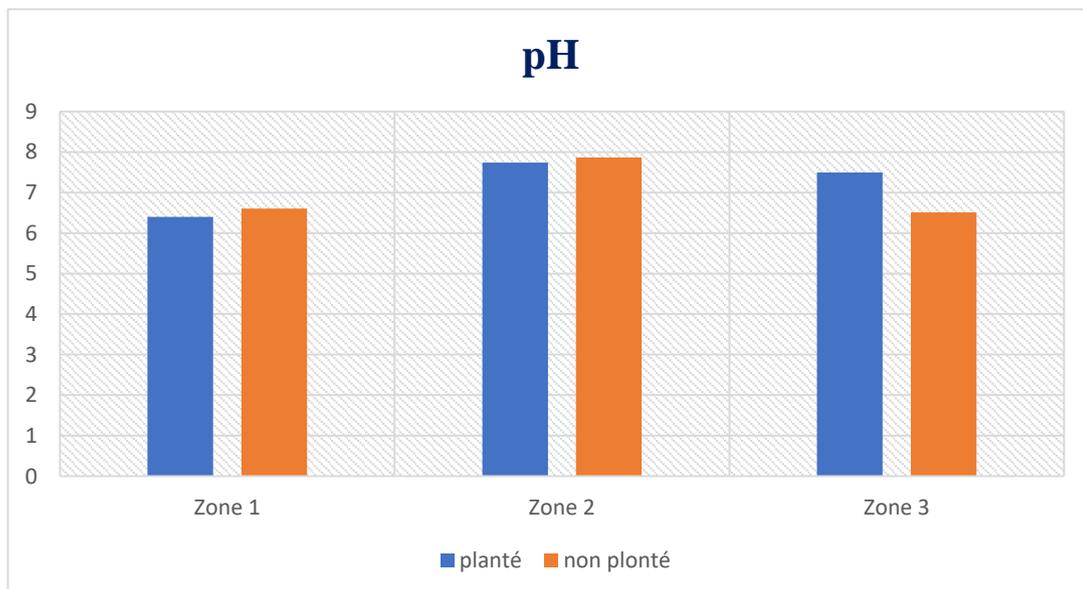
L'analyse de cette courbe montre que le sol sans plantation de zone 1 est très riche en Calcium par rapport aux autres et le pourcentage est stable dans le sol de zone 2 et 3.

2.6. Effet sur la teneur en PH:

L'analyse de variance des valeurs obtenues sur le PH dans le sol indique que les résultats sont non significatifs pour l'interaction espèces et salinité (TAB. 18)

Tableau 19: Analyse de la variance de L'effet d'*Atriplex* sur la teneur de pH de la solution du sol

Sources	dl Effet	MC Effet	F Obs.	niveau P
Espèces	1	0	0	0
Salinité	0	0	0	0
Interaction	1	2539,200	0,027	0,878



**Figure16: Moyennes des teneurs de pH de la solution du sol d'*Atriplex halimus* +
Témoin**

L'analyse de cette courbe montre que les sols sont neutres [6,40 - 7,90].

L'étude des moyennes de pH (eau) du sol indique que ce paramètre est élevé lorsque la concentration saline augmente chez les deux espèces. (Rezkallah, 2012)

L'Atriplex n'a donc aucun effet sur la variation du pH du sol (Ramade, 1981).

3. L'effet de plantation d'*Atriplex* sur Les analyses des Métaux lourds (Zn, Cu):

Tableau 20 : Analyses des métaux lourds du sol planté /Non planté par l'Atriplex :

Zones		Cu	Zn
Zone1	planté	0,004	0,010
	Non planté	0,024	0,031
Zone 2	Planté	0,016	0,019
	Non .Planté	0,010	0,041
Zone 3	Planté	0,037	0,244
	Non planté	0,347	0,347

L'analyse de variance des valeurs obtenues sur le Zn et Cu dans le sol indique que les résultats sont hautement significatifs (TAB. 19)

Tableau 21 : Analyse de la variance de L'effet d'Atriplex halimus sur les métaux lourds de la solution du sol

	Nombre du sol	Mc effet	M déviation	Mc erreur
Cu	6	0,07300	0,134723	0,055001
Zn	6	0,11533	0,143692	0,058662

	T	df effet	Niveau P	M déférentes
Cu	-71,399	5	0,000	-3,927000
Zn	-66,221	5	0,000	-3,884667

Les résultats obtenus montrent que presque tous les sols dépassée la norme recommander agricole. Selon le tableau des normes (30-100) de Cu et (100-300) de Zn

Est généralement élevée. Oscillant entre 0,004 et 0,024 de Cu de la zone 1 et 0 ,16 et 0,10 dans la zone 2 et 0,037 avec 0,347 de la zone 3.

Aussi pour le Zn 0,010 et 0,031 de Zones 1. 0,019 et 0,041 de zone 2. 0,244 et 0,347 de zone 3.

Les zones de forte minéralisation sont localisées presque dans toutes les parties de la région d'étude surtout la zone 3 pour les deux métaux lourds Cu et Zn.

Nous avons également remarqué la présence de même pourcentage du même métal dans plusieurs échantillons surtout les zone 1 et 2 pour les deux métaux lourds Cu et Zn.

Selon (Ghalmi, 2019) la zone d'étude peut être subdivisée en cinq classes: pollution insignifiante (IP < 1,0), faible (IP: 1,0 à 1,5), modérée (IP: 1,5 à 2,0), élevée (IP: 2,0 à 2,5) et très élevée (IP > 2,5).

Par exemple le pourcentage du cuivre dans le sol sans plantation de zone 3 est très élevée par rapport les autres et très faible dans le sol planté ou non de zone 2 et 3 de la zone 1.

Nous concluons à partir des graphiques qu'il n'y a pas de relation entre le pourcentage de métaux lourds et de sels dans le sol.

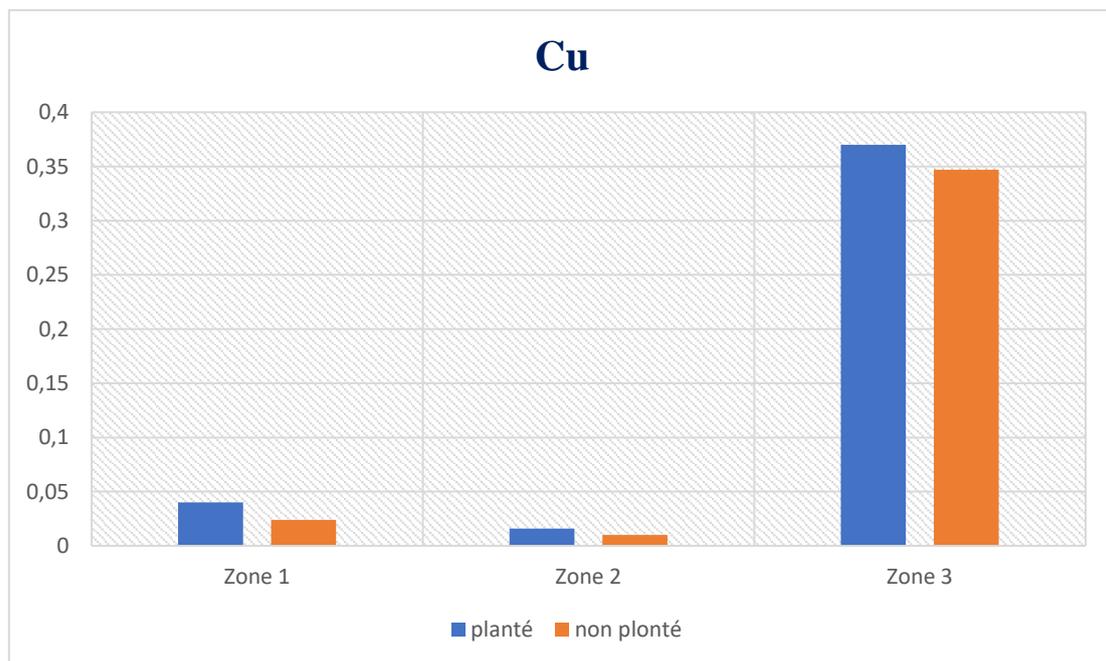
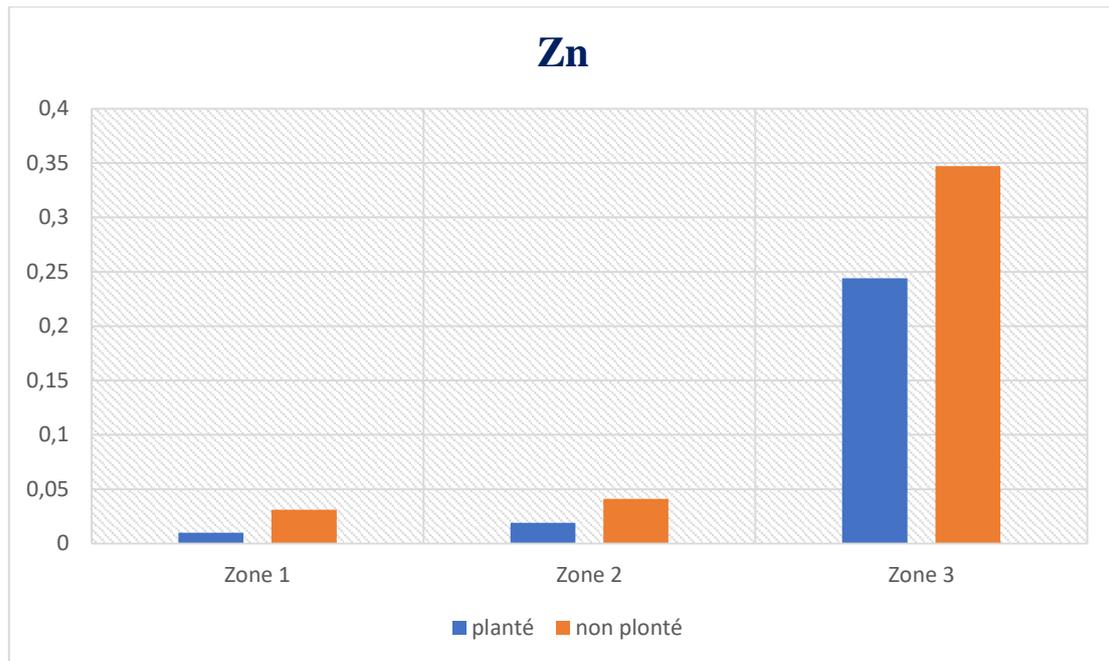


Figure 17 : Moyennes des teneurs de Cu de la solution du sol d'*Atriplex halimus* + Témoïn



**Figure 18 : Moyennes des teneurs de Zn de la solution du sol d'*Atriplex halimus* +
Témoin**



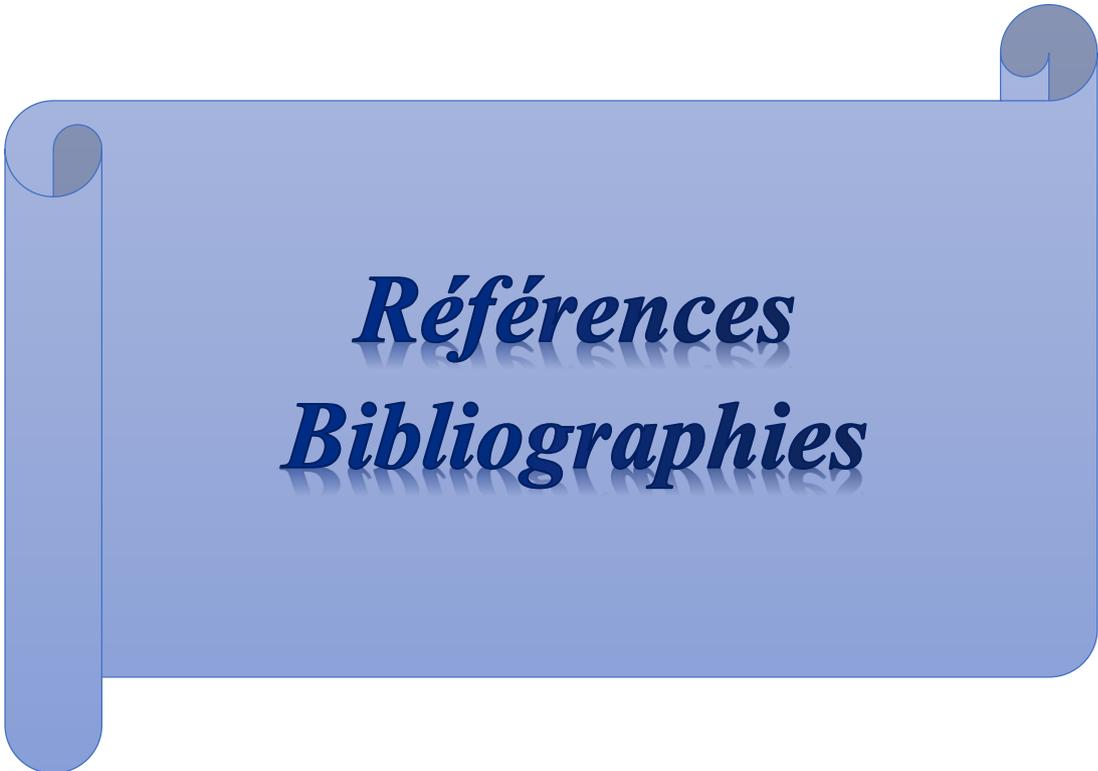
***Discussion et
Conclusion générale***

Conclusion générale

D'après ce qui précède, concernant la variation des paramètres du sol en fonction de la salinité, d'effet des plantes étudiées, on peut conclure que l'accentuation de la salinité affecte l'ensemble des composantes physicochimiques mesurées du sol, mais avec une intensité, plus ou moins, variable. Ainsi, nous avons remarqué, dans l'ensemble des cas, que la salinité n'exerce pas un effet assez marquant sur le pH du sol. Cependant, le type d'espèce utilisée a nettement marqué les caractéristiques du sol. En effet, l'espèce *A.halimus* c'est caractérisée par une valeur record du pH neutre. Contrairement à la CE et le TDS qui ont présenté une corrélation, de nature positive, avec l'effet de l'espèce. Pour ce qui est des minéraux du sol il est à retenir que le taux du sodium calcium et potassium a montré une tendance à diminuer face aux de l'espèce étudié. Il existe une relation inverse entre la salinité et les métaux lourds, car plus le pourcentage de sels n'est élevé, En raison de la présence d'un pourcentage élevé de cations.

Selon Ross, (1994), La présence de calcium dans les sols freinerait également de cuivre par les végétaux.

Nous avons conclu à travers cette recherche que le pourcentage élevé de salinité entraîne une diminution des métaux lourds, et aussi la contribution d'*Atriplex* coupée à une diminution du pourcentage de salinité par contre les métaux lourds.



***Références
Bibliographies***

- **Belarabi. A. (2018)**, Etude physiologie et photochimique de la tolérance aux métaux lourds 'Pb, Cr (3) et Cr (5) ' par *Atriplexe halimus* .L, Université de Mostaganem.
- **Benjamin CUNIASSE, Tara GLAS. (2020)**, Métaux lourds, Rapport Secten Citepa Edition, P168.
- **Bentahar. Y. (2016)**, Caractérisation physico-chimique des argiles marocaines : application à l'adsorption de l'arsenic et des colorants cationique en solution aqueuse, Université de Nice –Sophia Antipolis - UFR Sciences. p- 67/68.
- **Brady, N. C., Weil, R. R. 2008**. The nature and properties of soils (14th Ed.). Prentice Hall. P-965.
- **Casasni .L . (2022)**, Caractérisation Éco physiologiques et Biochimiques *d'Atriplexe halimus* en réponse aux stress abiotiques, Thèse de doctorat , Université Blida 1, p- 8/9.
- **C.I.C.L.A., J. L .VIGNES. (2023)** Cuivre, <https://www.universalis.fr/encyclopedie>
- **D. Baize (1994)**, teneurs totales en métaux lourds dans les sols français, Courrier de l'Environnement de l'INRA, n°22, P-38.
- **FAO. (2006)**, Guidelines for soil description (4th Ed.). Food and Agriculture Organization of the United Nations, P- 97.
- **Fatmi. H. (2020)**, Identification morphologique florale et biochimique et évaluation de la diversité génétique de *l'Atriplex halimus* dans la région de Tébessa, Université de Tebessa. P-7.
- **Ghalmi. S, (2019)**, Impact des sites miniers abandonnés sur l'environnement. Cas de la région Nord de Tébessa. (Extrême est Algérien), Université de Tébessa, p- 12.
- **[https://: www. Météoblue.com](https://www.Météoblue.com)**
- **H. Gérald, Schaub. Ch. (2011)** La fertilité des sols : L'importance de la matière organique, Service Environnement-Innovation. P-8.
- **J. Claude. Amiard. (2011)**, Les risques chimiques environnementaux, Lavoisier, TEC&DEC, Paris, P-83/145/153/154/191.
- **Jérôme. R,** Les métaux et métalloïdes dans l'environnement : Transfert et impacts environnementaux, [http:// le Monde.fr](http://leMonde.fr)
- **J. Foulon. (2016)**, Impact du phyto-management de sites pollués par les éléments traces métalliques sur les microorganismes du sol, Université de Franche-Compte , P- 8.

- **L. Fatarna, A. Boutekrabt, Y. Arabi, A. Adda. (2017)**, Impact du cadmium, du zinc et du plomb sur la germination des graines d'*Atriplex halimus* L. (Amaranthaceae), Revue d'Ecologie, Terre et Vie, Vol. 72 (1).
- **La synthèse de L' ASEF**, Consulté le 28/08/2022.
- **Marc-André-S.**, entretien réalisé et annoté par **B. Paillard. (2022)** ; Dans le sol, les vivants prennent la main, n°110.
- **M. C. Girard, Ch. Walter, J. C. Rémy, J. Berthelin, J. L. Morel (2005)**, Sols et Environnements, Édition DUNOD, Paris. P- 470 /471.
- **Michel-Claude Girard, Christian Schwartz, Bernard Jabiol (2011)**, Etude des sols, Édition DUNOD, Paris. p- 354.
- **Moulay. L, El Hachimi.M. Fekhaoui, An .El Abidi, A. Rhoujatt. (2014)**, Contamination des sols par les métaux lourds à partir de mines abandonnées : le cas des mines Aouli-Mibladen-Zeïda au Maroc, CIRAD JOURNALS_ vol. 23, n83
- **Nedjimi , B. Guit , M. Toumi , B. Beladel , A. Akam , Y. Daoud.(2013)** , *Atriplex halimus* subsp. *schweinfurthii* (Chenopodiaceae) : Description, écologie et utilisations pastorales et thérapeutiques , Fourrages,216, 333-338, p-335
- **O. Atteia. (2005)**, Chimie et Pollutions des eaux souterraines, édition LAVOISIER, 223/ 224.
- **P.Garcia. Caparos. M. Ozturk, Alvino, Gul. T. Scaharf B., H. Pirasteh , A. Benrgy Turkyilmaz. U, V. Altay , K . N.Toderich. (2022)**, Les halophytes ont un potentiel en tant que phyto-remédiateurs de métaux lourds : un-examen complet, ELSEVIER Volume 1993.
- **P. Benaben. (1997)**, Chromage, <https://www.techniques-ingenieur.fr>
- **Rezkallah. Ch. (2016)**, Réhabilitation des sols salés du Nord de tebessa (Morsott – El Aouinet – Boukhadra) par la plantation des espèces halophytes du genre de *l'atriplex* (*A. halimus*, *A. numularia*), Thèse de doctorat, Université de Badji – Mokhtar.
- **S. Maalem. (2002)**, Étude éco physiologie de trois espèces halophytes du genre *Atriplex* (*A.canescens*, *A. halimus*, *A. numularia*) soumises à la fertilisation phosphatée, Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar -Annaba. P- 18
- **Souahi.H. (2009)**, polymorphisme des protéines et des iso enzymes des trois espèces d'*Atriplex* (*A.halimus*, *Atriplex canescens* et *Atriplex numularia*), Thèse de magister, Université de Tebessa, p-4.

- **Thi My Dung Hunyh . (2009), Impacts des métaux lourds sur l'interaction plante /Ver de Terre / Microflore Tellurique, Thèse de doctorat, Université de Paris Est .P – 15.**
- **Timothy J. Flower's b, c, M. Ajmal Khana. Bilquees Gul a, Raziuddin Ansari. (2013), Germination strategies of halophyte seeds under salinity.**



Les annexes

Tableau 01 : analyses de conductivité électrique du sol planté et non planté

	Sols	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
Zone 1	planté	762
	Non planté	1007
Zone 2	planté	328
	Non planté	150,1
Zone 2	planté	132,5
	Non planté	130,6

Tableau 02 : analyses de TDS du sol planté et non planté

	Sols	TDS (mg/l)
Zone 1	planté	410
	Non planté	577
Zone 2	planté	180
	Non planté	83
Zone 2	planté	73
	Non planté	72

Tableau 03 : analyses de la salinité du sol planté et non planté

	Sols	Salinité (mg/l)
Zone 1	planté	0
	Non planté	0,4
Zone 2	planté	0
	Non planté	0
Zone 2	planté	0
	Non planté	0

Tableau 04 : analyses du pH du sol planté et non planté

	Sols	ph
Zone 1	planté	6,4
	Non planté	6,60
Zone 2	planté	7,74
	Non planté	7,86
Zone 2	planté	7,49
	Non planté	6,51

Tableau 05 : analyses du sodium du sol planté et non planté

	Sols	Na ⁺ (mg/l)
Zone 1	planté	78
	Non planté	105
Zone 2	planté	113
	Non planté	48
Zone 2	planté	61
	Non planté	50

Tableau 06 : analyses du potassium du sol planté et non planté

	Sols	K ⁺ (mg/l)
Zone 1	planté	670
	Non planté	358
Zone 2	planté	299
	Non planté	354
Zone 2	planté	164
	Non planté	240

Tableau 07 : analyses du calcium de sol planté et non planté

	Sols	Ca ²⁺ (mg/l)
Zone 1	planté	14
	Non planté	22
Zone 2	planté	5
	Non planté	5
Zone 2	planté	4
	Non planté	4



Figure 19 : Photo de la Spectre (FLAME PHOTOMETER)



Figure 20 : Photo de la PH- mètre



Figure 21 : Photos de l'espèce d'A triplex de la zone d'étude



Figure 22 : les solutions de sols prélevés (planté et non planté)