

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de

**Master en biologie**

**Option**

«Phytotechnologie appliquée aux sols pollués»

**Par**

**BOUNAKALA Fatima**

**MEDDAHI Zahia**



**Intitulé :**

**L'effet du stress salin (NaCl) et métallique (plomb) sur quelques paramètres biochimiques d'*Atriplex halimus L.***

Laboratoire de la biodiversité et conservation des eaux et des sols, université de Mostaganem.

**Devant le jury composé de :**

Nom et prénom	Grade	Qualité	Appartenance administrative
<b>Djibaoui Rachid</b>	MCA	Président	U. Ibn Badis Mostaganem
<b>Chibani abdelwahab</b>	MCA	Examineur	U. Ibn Badis Mostaganem
<b>Reguieg Yssad Houcine A. H</b>	Pr	Encadreur	U. Ibn Badis Mostaganem
<b>Ouaini Abderrahmane</b>	Mr	Co-encadreur	U. Ibn Badis Mostaganem

**Année universitaire : 2015-2016**

## **REMARCIMENT**

*Avant tout louer à dieu le tout puissant pour nous avoir donné courage, la volonté et la patience pour terminer ce travail.*

*Nos vifs remerciements et nos profondes reconnaissances s'adressent à toutes les personnes qu'ont contribué à l'aboutissement de ce mémoire, particulièrement :*

*Nos profonds remerciements vont à. Encadreur REGUIEG YSSAD. HA. Maître de conférences à l'Université de Mostaganem et responsable de la poste graduation de la promotion de phytotechnologie appliquée au sol polluée , Nous remercions vivement notre le con- Encadreur M.OUAINI Abderrahmane, qu'a accepté de nous encadrer .nous remercions infiniment pour son aide, ses orientations, sa patience et sa correction sérieuse de ce modeste travail.*

*Nous adressons notre sincère reconnaissance à tout le personnel de la ferme de Mazagan*

*Nous tenons à remercier Mr. le directeur du laboratoire avec toutes ces équipes L'université de Mostaganem, Sans oublier tous les enseignants qui ont participé à notre formation. Tous les étudiants de la promotion 2016 phytotechnologie appliquée ou sol polluée.*

*En fin, que tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail, trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude.*

*Fatima et Zahia*

*Dédicace*

*Je rends grâce à Allah.*

*A ma mère, mon Dieu aït son âme et l'insérer  
dans ses vastes paradis.*

*A mon père et mes frères; Mohammed et Ahmed*

*A mes sœurs pour leurs amour et leurs  
encouragement et leurs conseil*

*A mon fils des mes frères et mes soeurs ;Ismaïl  
;Abderrahmane, Hamza, Sabah, Ayah, Ikram .*

*A tous les enseignants qui ont contribué à ma  
formation.*

*A mes fidèles amies, en souvenirs des très bons  
moments passés ensemble en particuliers.*

*A tous ceux qui connaissent et aiment de près ou  
de loin Meddahí.*

*Zahia*

## ***Je dédie ce travail à :***

*A ma mère qui toujours a su me donner un savoir vivre et que nous aimon.*

*A mon père qui a toujours veille sur ma éducation et qui ma permise de finir més études et c'est grave elle que j'ai attenté et que j'ai achevé mon cursus universitaire.*

*A mes frères : Abdelkader, Ibrahim, Aziz et Mohamed.*

*A mes sœurs : Mama, Fouzia, Nacira, Fatiha, Ikram et Alia.*

*Amon fis des mes frères et mes soeurs ; Ahmed, Aicha, Salsabil, Moussa, Rihame, Anfal, Maria.*

*A tout les familles .Bounakala, Krim, Lebig, Bensalah, Bousadra.*

*A toutes mes amies sans exception.*

*A tous ceux qui connaissent et aiment Fatima de près où de loin.*

*A ma promotion de la phytotechnologie master 2.*

**FATIMA**

## Résumé :

La pollution des sols est l'un des problèmes environnementaux le plus dangereux, dans ce contexte dans notre laboratoire (biodiversité et conservation des eaux et des sols) on essayé de faire l'étude de l'effet de la salinité et du plomb sur les plantes.

L'utilisation des plantes halophytes dans la réhabilitation des sols pollués et l'un des techniques les plus répandues dans ce sens.

La famille chénopodiacée regroupe des halophytes importantes telle que l'*Atriplex*. Le présent travail est réalisé sur la plantation d'*Atriplex halimus* L. dans des pots en plastique, après un mois de germination et de croissance les plantes sont irriguées régulièrement par solution nutritive (Hoagland) et stressées à des doses de 0%, 0,5% et 3% de NaCl pendant une durée de quatre mois.

Avant un mois de la réalisation des analyses biochimiques, les plantes sont soumises à des concentrations différentes au plomb (0ppm, 800ppm, 1600ppm, 2400ppm).

Puis notre étude se termine par le dosage de la chlorophylle(a), chlorophylle(b), chlorophylle (a+b), la proline, la teneur relative en eau et les sucres solubles.

Les résultats obtenus montrent que le stress salin et métallique peut créer des perturbations physiologiques et biochimiques traduites par une augmentation ou une diminution des teneurs en paramètres étudiés. Mais malgré ces variations les plantes d'*Atriplex* donnent une bonne adaptation vis-à-vis ces contraintes.

Les résultats trouvés suggèrent que l'*Atriplex halimus* L. peuvent être utilisées dans un système de dépollution des sols car elles possèdent des propriétés particulières de résistance naturelle à de nombreuses contraintes abiotiques.

**Mots clés :** stress salin, *Atriplex halimus* L, plomb, phytoremédiation

## Abstract

The pollution of the soil is one of the environmental problems most dangerous, in this context in our laboratory (biodiversity and conservation of soil water) we tried to make the study of the effect of salinity and lead on the plants.

The use of the plants halophytes in the rehabilitation of the polluted soils and is of the most widespread techniques in this direction.

The chénopodiacée family regroup important halophytes such as *Atriplex*. This work was executed using the plant of *Atriplex halimus L* in plastic pots, after one month of germination and growth the plants were irrigated regularly by nutritive solution (Hoagland) and are stressed with the dose of 0%, 0, 5% and 3% of NaCl during four month.

Before one month of the realization of the biochemical analyses, the plants were subjected to different concentration of lead (0ppm, 800ppm, 1600ppm, 2400ppm).

Then our study ends with estimations of the chlorophylle (a), chlorophylle (b), chlorophylle (a+b), the proline, the relative content water and soluble sugars.

The results obtained show that the saline and metal stress can create physiological and biochemical disturbances translated by an increase or a reduction in the contents of parameters studied. But in spite of these variations the plants of *Atriplex* give a good adaptation against these constraints.

The results suggest that *Atriplex halimus L*. can be used in a system of depollution of soil because they have particular properties of natural resistance to many abiotic constraints.

**Key words:** saline stress, *Atriplex halimus L*, lead, phytoremediation

## الملخص

تلوث التربة هو احد المشاكل البيئية الحالية الأكثر خطورة في هذا السياق توجه مختبرنا نحو دراسة تأثير الملوحة و الرصاص على النباتات

زراعة النباتات المقاومة للملوحة هي واحدة من التقنيات الأكثر استعمالا لاستعادة التربة العائلة الرمامية تضم نباتات ملحية مهمة مثل القطف الملحي قمنا بتعريض النباتات لإجهاد ملحي و ذلك بسقيها في مرحلة النمو بمياه معالجة بكلوريد الصوديوم بتركيز مختلفة (0% ;0.5% ;3%)

و من ثم عرضناها للإجهاد الغير الحيوي مع محلول معدني يستند إلى نترات الرصاص بتركيز متزايدة(0ppm ;800ppm ;1600ppm ;2400ppm).

مقاومة هذه النباتات للملوحة و الرصاص درست عن طريق قدرتها على النمو والإنتاج

استكملت هذه الدراسة بقياس كمية الكلوروفيل (ا) (ب) (ب) يعكس هذا المؤشر عملية التركيب الضوئي

تركيز البرولين كان مهما في الأوراق و كذلك السكريات فهي متراكمة وفقا للملوحة أما المحتوى المائي للنبته ينخفض مع زيادة تركيز الملوحة عند القطف الملحي

**الكلمات المفتاحية** الإجهاد الملحي القطف الملحي النباتات المعالجة

## LISTE DES ABREVIATIONS

%	Pour cent
°C	Degré Celsius
Cm :	Centimètre
CO <sub>2</sub> :	Dioxyde de carbone
DO :	Densité optique
ETM :	Elément trace métallique
Fig :	Figure
H:	Heure
HNO <sub>3</sub> :	Acide Nitrique
g :	gramme
Km :	Kilomètre
L ;	Litre
Ml :	Millilitre
mm :	Millimètre
mMol.L <sup>-1</sup> :	Mili Mol par litre
NaCl :	chlorure de sodium
Pb :	plomb
PbNO <sub>3</sub> :	Nitrate de plomb
P S :	poids sec
P F:	poids frais
P pt:	poids pleine turgescence
Ppm :	Particule par million
RWC :	Teneur relative en eau

EDTA : Acide Ethylène DiaminoTétraacétique

HAP : Hydrocarbure Aromatique Polycyclique

Chlo : chloropylle

UV : ultra-violet

$\text{SO}_4^{-2}$ : Sulfate

Nitrate de potassium :  $\text{KNO}_3$

Nitrate de calcium:  $(\text{NO}_3)_2\text{Ca} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

Nitrate d'Ammonium :  $\text{NO}_3\text{NH}_4$

Sulfate de magnésium :  $\text{SO}_4\text{Mg} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

Phosphate monopotassique :  $\text{PO}_4\text{H}_2\text{K}$

Di-potassium hydrogénophosphate :  $\text{PO}_4\text{K}_2\text{H} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$

Chlorure de manganèse :  $\text{Cl}_2\text{Mn} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

Sulfate de cuivre :  $\text{Cu} \text{SO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

Sulfate de zinc :  $\text{Zn} \text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

Acide borique :  $\text{H}_3\text{BO}_3$

Molybdate d'ammonium:  $\text{MO}_7\text{O}_{24}(\text{NH}_4) \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

Complexeferrique: EDTA ferrique ( $\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{FeN}_2\text{NaO}_8$ )

## Liste des figures

**Figure (1) :** Le protocole expérimental adopté.

**Figure (2) :** L'effet du stress salin et métallique sur la chlorophylle (a).

**Figure (3):** L'effet combiné de la salinité et du plomb sur la chlorophylle (a).

**Figure(4) :** L'effet combinée de la salinité du plomb sur la chlorophylle (b).

**Figure(5) :** L'effet combiné du stress salin et stress métallique sur la chlorophylle(b).

**Figure(6) :** L'effet de salinité et du plomb sur la chlorophylle (a+b).

**Figure(7) :** L'effet combinée de la salinité du plomb sur la chlorophylle (a+b).

**Figure(8) :** L'effet de la salinité et du plomb sur la teneur relative en eau.

**Figure(9) :** L'effet combiné de la salinité et du plomb sur la teneur relative en eau.

**Figure(10) :** L'effet combiné de la salinité et du plomb sur la teneur relative en eau.

**Figure(11) :** L'effet de la salinité et de plomb sur la proline.

**Figure(12) :** L'effet combiné de la salinité et du plomb sur la proline.

**Figure(13) :** L'effet combiné de la salinité et du plomb sur la proline.

**Figure(14) :** L'effet de salinité et du plomb sur le sucre soluble.

**Figure(16) :** L'effet combiné de la salinité et du plomb sur le sucre soluble.

**Figure(17) :** L'effet combiné de la salinité et du plomb sur le sucre soluble.

## Listes de photos

**Photo(1):** *d'Atriplex halimus* (Photo originale) *L.* âgée de 60 jours.

**Photo(2) :** *d'Atriplex halimus. L* (Photo originale.) âgée de 70 jour.

**Photo(3):** le site expérimental. (Originale, 2016).

**Photo(4):** Méthode de préparation des sables (photo origine 2016).

**Photo(5) :** Germination des grains *d'Atriplex Halimus L.* pendant 15 jours.

**Photo (6) :** Dispositif expérimental adopté à la serre *d'Atriplexhalimus.L35* jours.

**Photo (7):** Dispositif expérimental adopté à la serre pour espèce d'Atiplex (*Atriplex halimus L.*).

## Liste des tableaux :

**Tableau (1):** Dispositif expérimental adopté dans la serre.

**Tableau (2) :** Composition chimique de la solution Hoagland.

**Tableau (3) :** Composition de la solution de nitrate de plomb.

**Tableau (4) :** teneurs moyennes en **chlorophylle a, chlorophylle b** et **chlorophylle totale** chez *Atriplex halimus* L.

**Tableau (5) :** teneurs moyennes en **contenu relative en eau** chez *Atriplex halimus* L.

**Tableau(6) :** teneurs moyennes en **proline** chez *Atriplex halimus* L.

**Tableau(7) :** Teneurs moyennes en sucres solubles chez *Atriplex halimus* L.

## Sommaire

Introduction.....	1
<i>L'Atriplex</i> .....	5
I.1. Origine et diffusion .....	5
I.2 Taxonomie, botanique et physiologie : .....	5
I.3 Systématique de l'espèce : .....	6
I.4 Description : .....	6
I.5 Importance de <i>l'Atriplex halimus L.</i> .....	7
II.1.STRESS .....	10
II.1.1.Définition: .....	10
II.1.2Catégories de stress :.....	11
II.1.2.1 Biotique : .....	11
II.1.2.2. Abiotique : .....	11
II.1.3 Différents types de stress .....	11
II.1.3.1 Stress hydrique: .....	11
II.1.3.2 Stress salin :.....	11
II.1.3.3Le stress ionique:.....	11
II.1.4Causes de la salinisation des sols : .....	12
II.1.4.1.Salinisation primaire : .....	12
II.1.4.2.Salinisation secondaire : .....	13
II.1.6Adaptation des plantes : .....	14
II.1.6.1 Stratégies d'adaptation .....	14
II.2.Stress métallique (ETM):.....	14
II.2.1. Origine : .....	14
II.2.2. Pollution par les métaux lourds : .....	15
II.2.2.1.Le sol :.....	15
II.2.2.2. Pollution d'origine anthropique : .....	15
II.2.2.3.Pratiques agricoles : .....	15
II.2.2.4.Source industrielle : .....	15
II.3.1 Le Plomb : .....	15
II.3.2 Propriétés fondamentales: .....	16

II.3.3. Effets du plomb sur la plante : .....	16
III. La phytoremédiation : .....	18
III.1.Principe général de remédiation des sols contaminés : .....	19
III.1.1le traitement ex situ :.....	19
III.1.2 le traitement in situ.....	19
III.2 Avantages : .....	19
III.3 Inconvénients :.....	20
III.4.Utilisation d' <i>Atriplex</i> en phytoremédiation :.....	21
III.5.Les mécanismes impliqués dans la tolérance aux métaux chez les plantes : .....	21
III.5.1. L'absorption et le transport :.....	21
III.5.2 Le stockage et la détoxification : .....	22
III.5.3. Les réponses au stress oxydatif :.....	22
IV.MATERIEL ET METHODES :.....	24
IV.1 Matériel végétal :.....	24
IV.2 Site expérimentale : .....	24
IV.3Méthodes : .....	24
IV.3.1 Préparation du substrat de culture :.....	24
IV.3.2. Préparation des pots et repotage du sable substrat: .....	25
IV.3.3. Germination : .....	25
IV.3.4 Repiquage : .....	26
IV.3.5 Préparation des solutions d'arrosage : .....	27
IV.3.6. Teneur en eau relative :.....	30
IV.3.7 Dosage de la proline : .....	30
IV.3.8 Dosage de la chlorophylle: .....	31
IV.3.9 Dosage des sucres solubles :.....	32
IV.4. Analyse statistique:.....	32
V. Résultat et discussion : .....	35
V.1 l'effet combiné du stress salin et métalliques sur la chlorophylle: .....	35
V.1.1 l'effet combiné du stress salin et métalliques sur la chlorophylle (a) :.....	35
V.1.2 L'effet combiné du stress salin et métalliques sur la chlorophylle(b) :.....	38
V.1.3effet combiné de stress métallique et stress salin sur la chlorophylle (a+b) :.....	40
V. 2effet combiné de stress métallique et stress salin sur la teneur relative en eau : ...	45
IV.3effet combiné de stress métallique et stress salin sur la proline :.....	49

IV.4 Effet combiné de stress métallique et stress salin sur la sucre soluble : .....	54
Conclusion :.....	60

# Introduction

---

## Introduction

Les écosystèmes arides et semi arides constituent environ 2/3 de la surface du globe terrestre la salinisation des sols se manifeste comme l'un des principaux facteurs limitant le développement des plantes.

La salinisation des sols et de l'eau, est l'un des principaux facteurs abiotiques qui limitent la productivité végétale (**BAATOUR et al., 2004**), et le rendement agricole (**ZID et al, 1991**). Dans les écosystèmes arides et semi arides, elle résulte des fortes évaporations d'eau à partir du sol (**MUNNS et al, 2006**) et d'une irrégulière et insuffisante pluviométrie (**MEZNI et al, 2002**). Elle provient également de l'irrigation le plus souvent mal contrôlée (**BENNACEUR et al, 2001**). Chaque année, les surfaces perdues à cause de la salinité des sols, varient autour de 20 millions d'ha dans le monde. Ainsi, ces surfaces sont passées de 48 millions à 265 millions d'ha de terres agricoles touchées par la salinité, les surfaces agricoles affectées dans le monde seraient de 340 millions d'ha, soit 23% des terres cultivées dans le monde (**CHEVERRY., 1995**). Selon **SZABOLCS (1994)**, un milliard d'ha est menacé, dont 3,2 millions d'ha en Algérie (**BELKHODJA et BIDAI., 2004**).

En Algérie, les semi-arides et particulièrement les steppes, qui restent le support de l'élevage, connaissent actuellement une désertification et une salinisation de plus en plus accentuées. Ces derniers. Causent des problèmes l'environnementaux et économiques grave, Afin de protéger ces régions et de les améliorer, l'introduction d'espèces fourragères connues pour leur tolérance à la salinité, Tel que les *Atriplex* est une espèce très polymorphe, qui mérite d'être exploitée dans les écosystèmes menacés par Certains métaux sont des éléments nutritifs essentiels, d'autres connus comme étant toxiques. Un aspect particulier est que tous les métaux lourds sont naturellement présents dans le sol.

Des métaux lourds tels que le cuivre, le nickel, le chrome et le zinc sont utilisés à grande échelle dans toutes sortes d'objets courants et de matériaux de construction, sans que cela ne représente de risque pour l'utilisateur. Certains métaux sont essentiels pour la santé et sont ajoutés à des suppléments de vitamines. D'autre part, il existe des exemples d'effets graves sur la santé et même d'intoxication entraînant la mort. L'intoxication par le plomb était probablement courante chez les Romains, qui buvaient dans des coupes en

## Introduction

---

plomb. Au Japon, des décès ont été constatés dans les années cinquante et soixante suite à la consommation de poissons contenant des concentrations élevées de mercure (maladie de Minamata). En Campine, les teneurs en cadmium dans certaines zones sont tellement élevées que la consommation de légumes provenant de jardins populaires peut entraîner des risques pour la santé.

Conscients des intérêts, et de l'importance de l'*Atriplex*, nous nous sommes intéressés dans le cadre de ce travail à étudier l'effet du stress salin sur quatre paramètres physiologiques d'espèces d'*Atriplex halimus* à savoir la teneur relative en eau, la teneur en chlorophylle, la teneur en proline, et la teneur en sucres solubles.

Les *Atriplex* constituent une réserve fourragère importante, et sont capables d'accumuler de grandes quantités de sel dans leurs tissus et plus particulièrement dans les trichomes, situés à la surface des feuilles (**MOZAFAR et GOODIN., 1970**).

Les espèces du genre *Atriplex* sont souvent utilisées dans la réhabilitation de sites difficiles. Elles possèdent par ailleurs, un système racinaire très développé, fixant les couches supérieures du sol et peuvent être utilisées comme moyen de lutte contre la désertification (**BELKHODJA et BIDAI., 2004**).

L'objectif essentiel de notre travail consiste à étudier l'effet combiné de la salinité et du plomb sur l'espèce d'*Atriplex halimus* L.

Ce travail comporte deux grandes parties:

-La première partie concerne la synthèse bibliographique sur : *Atriplex halimus*, la salinité, les métaux lourds plomb 'Pb' et la phytoremédiation.

-La deuxième partie est consacrée au protocole expérimental adopté pour la réalisation de notre travail.

-Enfin la troisième partie concerne les résultats et discussion.

## *L'Atriplex*

### I.1. Origine et diffusion

Le genre *Atriplex* est le plus grand et le plus diversifié de la famille des Chenopodiaceae et compte environ 200 espèces réparties dans les régions tempérées et sub-tropicales; on trouve également des exemplaires de ce genre dans les régions polaires, bien qu'en nombre très réduit. Généralement, il est associé aux sols salins ou alcalins et aux milieux arides, désertiques ou semi-désertiques (**Rosas, 1989; Par-Smith, 1982**).

*Atriplexhalimus L.*, originaire d'Afrique du Nord, s'est bien adaptée aux terrains salino-argileux et aux milieux caractérisés par des précipitations annuelles inférieures à 150 mm (**Le Houérou, 1980**). Si elle n'est pas broutée par le bétail, cette espèce peut atteindre 4 m de hauteur (Négre, 1961); de plus, elle appartient aux espèces d'*Atriplex* les plus appétibles pour le bétail dans les zones arides du WANA (sud d'Afrique) (**Tiedeman et Chouki, 1989**).

En Algérie *Atriplexhalimus L.* est une espèce halophyte autochtone qui pousse généralement sur sols salés et en bordures des chotts et des sebkhas. Son importance fourragère s'explique par son contenu élevé en azote, son adaptation à la sécheresse et à la salure, le maintien de son feuillage vert durant toute l'année et par sa tolérance au pâturage (**Le Houérou, 1980**).

### I.2 Taxonomie, botanique et physiologie :

Du point de vue morphologique, les Chénopodiacées sont caractérisées par des racines profondes et pénétrantes, destinées à absorber la plus grande quantité d'eau possible, et des feuilles alternées, petites et farineuses ou recouvertes de poils, lobées, parfois épineuses, formées de manière à réduire les pertes en eau dues à la transpiration.

A cette famille appartiennent environ cent genres qui peuvent être divisés, suivant la forme de l'embryon, en deux tribus:- Spirolobae, qui présentent un embryon enroulé en spirale et l'endosperme est divisé en deux parties par l'embryon;-Cyclobae, qui présentent un embryon en forme de fer à cheval ou en demi-cercle comprenant l'endosperme en entier ou en partie.

A cette dernière tribu appartient le genre *Atriplex* (**Rosas, 1989**). Celui-ci compte plus de quatre cent espèces réparties dans les différentes régions arides et semi-arides du monde; il est particulièrement répandu en Australie où on peut déterminer une grande diversité d'espèces et de sous-espèces.

### I.3 Systématique de l'espèce :

D'après CHADEFAUT et al (1960), la classification de l'espèce *Atriplexhalimus L.* dans le règne végétal est la suivante:

Règne : Végétal

Embranchement : Spermaphytes (Phanérogames)

Sous embranchement : Angiospermes

Classe : Dicotylédones

Sous- classe :Apétales

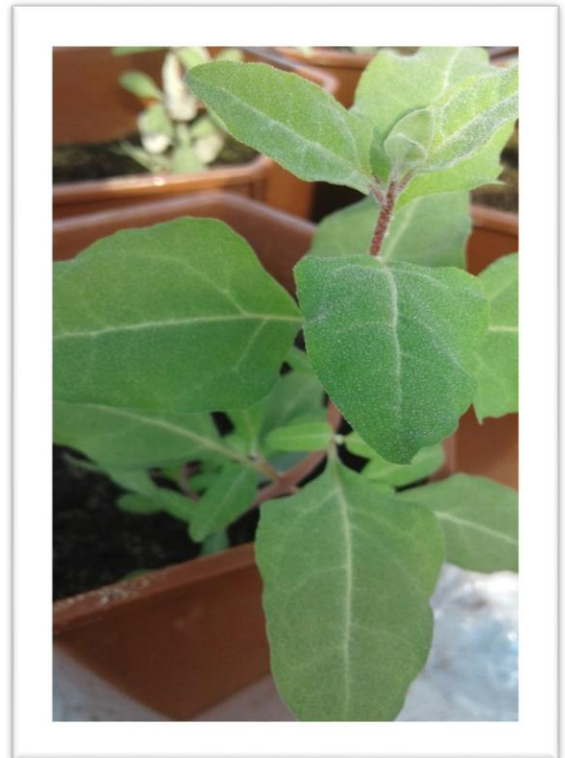
Ordre : Centrospermales

Famille : Chénopodiaceae

Genre : *Atriplex*

Espèce : *Atriplexhalimus L.*

Nom vernaculaire français: arroche halime ou pourpier de mer. Nom arabe: G'ttaf.



**Photo(1):d'Atriplexhalimus(Photo originale) L.  
âgée de 60 jours.**

### I.4 Description :

*Atriplexhalimus* est une plante spontanée vivace pouvant se développer au ras du sol ou prendre un arbustif vivant surtout en climat arides et semi arides (OZENDA., 1983).

C'est une plante caractérisée par un important polymorphisme. Ce polymorphisme se manifeste au niveau de la morphologie des structures végétales qu'au niveau des structures reproductives. La forme des feuilles d'*Atriplexhalimus* peut correspondre à celle d'autres espèces du même genre (DUTUIT., 1999). Il se manifeste au niveau de la dimension et la forme des feuilles des arbres fructifères et des graines, ainsi qu'un polymorphisme dans la production de la biomasse (BENAHMED et al., 1996). Ce polymorphisme semble être une caractéristique des Chénopodiacées (OZENDA., 1983).

L'*Atriplexhalimus* se divise en deux sous espèces:

- *Atriplexhalimus L. Halimus*: est généralement plus feuillée et se rencontre sur les zones du littoral semi-aride et humide.

- *Atriplexhalimus L. Schweinfurthii*: est caractérisée par des rameaux florifères dépourvus de feuilles; c'est une sous espèce des zones arides et désertiques (FRANCLET et al, 1971).



**Photo(2) :d'*Atriplex halimus. L* âgée de 70 jour.**

### **I.5 Importance de l'*Atriplex halimus*L.**

En effet, ces plantes possèdent un système racinaire très développé qui leur permet d'utiliser les réserves d'eau du sol et de former un réseau dense susceptible d'agrèger le sol et de le rendre résistant à l'érosion (Dutuit et al.,1991).

Enplus. Ces racines peuvent fixer les couches supérieures du sol donc considérer comme un moyen de lutte contre la désertification (belkhodja et bidai., 2004).

Ces plantes sont utilisées dans des terres ou la végétation naturelle est profondément dégradée et la production agricole très irrégulière, ou dans des terres chargées en sel pour les déstaliniser (benrebihha .1987).

*L'Atriplexhalimus L* est utilisé fondamentalement comme plante fourragère. Son feuillage persistant, riche en protéines est très apprécié durant la longue période de sécheresse estivale alors que les espèces herbacées ont disparu, cette plante peut produit jusqu'à cinq tonnes /hectare de matière sèche par an sur des sols dégradés ou salins l'utilisables pour d'autres cultures (Dutuit et al.1991).

C'est une plante bien adapté à l'aridité, et constitue une sucre important de courage pour les ovins (Abu-Zanat., 1995).

L'*Atriplex* est une plante nutritive, riche en protéine( **Francllet et al.,1971**),en vitamine C ,A ,et D et sels minéraux( **Benrebiha.,1987**).

Cette plante est aussi utilisée comme plante médicinale dans la pharmacopée traditionnelle (**Dutuit et al.,1991**).Elle était préconisée aux malades présentant les symptômes de diabétiques.

Au Sahara occidental, les cendres de l'*Atriplex hamilus* reprise par l'eau sont utilisées dans le traitement de l'acidité gastrique. Les grains sont ingérées comme vomitif (**bellakhdar. 1997**).

Les *Atriplex* présentent une bonne tolérance aux conditions défavorables du milieu. *Atriplex halimus L.* Supporte des concentrations de chlorure de sodum (NaCl) voisines de Celles de l'eau de mer (30 g/l )(Zid et al.,1977).

L'examen de la répartition du genre *Atriplex*,montre que la plupart des espèces se situent dans les régions ou les précipitations varient entre 200 et 400 mm/ an (**Francllet et al.,1971**). L'*Atriplex*supporte des températures minimales de 5 à 10<sup>0</sup> C (**froment.1972**) et selon(**H.C.D.S.,1996**), l'*Atriplexhalimus* peut supporter jusqu'à -10<sup>0</sup> C.

Selon **froment(1972)**. Cette espèce peut s'adapter à des milieux divers. Maiselle préfère les sols limoneux. Par contre l'*Atriplexcanescens* se développe mieux dans les sols sableux et argileux.

## II.1.STRESS

### II.1.1.Définition:

On appelle stress toute pression dominante exercée par un paramètre, perturbant le fonctionnement habituel de la plante. Par ailleurs, la réponse du végétal dépend, entre autres, de ces paramètres environnementaux, (le type de contrainte, son intensité et sa durée) et génétiques (espèce et génotype) (**HOPKINS., 2003**). Selon **DUTUIT et al (1994)**, le stress est le dysfonctionnement (rupture d'un équilibre fonctionnel) produit dans un organisme ou dans un système vivant, par exemple par une carence.

Le stress est l'ensemble des conditions qui provoquent des changements des processus physiologiques résultant éventuellement en dégâts, dommages, blessures, inhibition de la croissance ou de développement. Le stress est fondamentalement un concept mécanique défini par les ingénieurs et les physiciens comme étant une force exercée par unité de surface d'un objet en réponse au stress, l'objet oppose une déformation ou un changement de dimensions (**HOPKINS, 2003**). On peut donc considérer que la notion de stress implique d'une part, une déviation plus ou moins brusque par rapport aux conditions normales de la plante et de l'animale, et d'autre part une réaction sensible de l'individu dans les différents aspects de sa physiologie laquelle change sensiblement avec soit l'adaptation à la nouvelle situation soit à la limite dégradation menant à une issue fatale (**LECLERC, 1999**).

### **II.1.2 Catégories de stress :**

On distingue deux grandes catégories de stress :

#### **II.1.2.1 Biotique :**

Imposé par les autres organismes (insectes, herbivores.....).

#### **II.1.2.2. Abiotique :**

Provoqué par un déficit ou un excès de l'environnement comme la sécheresse, la température extrême, la salinité. Les stress abiotiques ou environnementaux affectent la croissance et le rendement des plantes contrairement aux animaux qui peuvent se déplacer lorsque les conditions de vie ne leur sont plus favorables, les plantes ont développées des stratégies d'adaptations pour répondre aux chocs chimiques ou physiques engendrés par l'environnement en contrôlant et en ajustant leur systèmes métaboliques (LACLERC.,1999)

### **II.1.3 Différents types de stress abiotique :**

#### **II.1.3.1 Stress hydrique:**

Une forte concentration saline dans le sol est tout d'abord perçue par la plante comme une forte diminution de la disponibilité en eau. Cela nécessite un ajustement osmotique adapté, afin que le potentiel hydrique cellulaire demeure inférieur à celui du milieu extracellulaire et à celui du sol (Hopkins, 2003). Ce phénomène assure d'une part, la poursuite de l'absorption de l'eau du sol, et d'autre part, la rétention de l'eau intracellulaire et le maintien de la turgescence. Lorsque l'ajustement osmotique n'est pas suffisant, l'eau tendance à quitter les cellules, ce qui provoque un déficit hydrique et la perte de la turgescence.

#### **II.1.3.2 Stress salin :**

Le stress salin est une brusque augmentation de la concentration en sels qui conduit d'une part, à un afflux plus élevé d'ions dans la cellule suite à la chute de la concentration du milieu externe, d'autre part, à une perte d'eau par voie osmotique (NULTSH, 1998). Selon Hopkins (2003), le stress salin est considéré comme étant un excès d'ions en particulier  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$ . LECLERC (1999) montra qu'une abondance de sels dissous s'observe bien sûr en milieux marins mais aussi dans beaucoup de milieux terrestres plus particulièrement dans les zones semi désertiques. Les plantes qui croissent sur des sols très salins sont nommées halophytes.

### II.1.3.3 Le stress ionique:

En dépit d'un ajustement osmotique correct, la toxicité ionique survient lorsque l'accumulation de sels dans les tissus perturbe l'activité métabolique;

### II.1.4 Causes de la salinisation des sols :

Bien que l'altération des roches et les minéraux primaires soit la principale source de tous les sels, les sols salés sont rarement formés par accumulation de sels in situ. Plusieurs causes sont à l'origine de ce phénomène (Maillard, 2001).

En effet, selon le degré de salinité dans le milieu, les glycophytes en particulier sont exposées à des modifications de leur comportement morpho-physiologique (Bennaceur et al., 2001), biochimique (Grennan, 2006) et minéral (Martinez et al., 2007). Ainsi, les plantes réagissent à ces variations de la salinité dans le biotope, soit pour disparaître ou déclencher des mécanismes de résistance. Parmi ces mécanismes, l'ajustement osmotique joue un rôle primordial dans la résistance ou la tolérance de la plante à la contrainte abiotique (Munns, 2006). En effet, la tolérance, dans le cas d'un abaissement du potentiel hydrique, s'exprime par un maintien de la turgescence (Moinuddin et al. 2005) grâce au phénomène d'ajustement osmotique. Ce phénomène apparaît aujourd'hui comme un mécanisme majeur d'adaptation aux stress ionique et osmotique qui s'expriment par la capacité d'un végétal à accumuler, au niveau cytoplasmique et de manière active des ions tels que  $\text{K}^+$  et  $\text{Na}^+$  (Parida et al, 2005; Navarro et al, 2006) et  $\text{Cl}^-$  (Munns, 2006; Teakle et al., 2007) ou de composés organiques tels les sucres solubles (Ottow et al., 2005) et certains amino-acides comme la proline (Morant-Manceau et al., 2004). Ceci permet le maintien de

nombreuses fonctions physiologiques (photosynthèse, transpiration, croissance...) (Grennan, 2006; Martinez et al., 2007). L'accumulation de ces composés serait une adaptation métabolique notée chez un certain nombre de plantes tolérantes au stress. Wyn et Gorham (1986) ont indiqué que la tolérance au sel chez le blé est liée à sa faible absorption de  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$ .

#### **II.1.4.1. Salinisation primaire :**

Près de 80 % des terres salinisées ont une origine naturelle, on qualifie alors la salinisation de «primaire». Dans ce cas, celle-ci est due à la formation des sels pendant l'altération des roches ou à des apports naturels externes :

- Dans les régions côtières, intrusion de l'eau salée ou submersion des terres basses.
- Inondation périodique par de l'eau de mauvaise qualité.
- Remontée d'une nappe phréatique salée près de la zone racinaire (Mermoud, 2006)

#### **II.1.4.2. Salinisation secondaire :**

Près de 20% des terres salinisées ont une origine humaine ou anthropique et sont qualifiées de «secondaires». L'irrigation est la principale cause anthropique de la salinisation des sols (Anonyme, 2006) Dans environ la moitié des situations, le développement de l'irrigation s'est accompagné de l'apparition de processus de salinisation, sodisation ou alcalinisation des sols d'importance variable. Si les situations apparaissent très diverses en raison des caractéristiques du milieu naturel, des pratiques agricoles ou de la gestion de l'eau, ces dégradations ne sont pas inéluctables et apparaissent pour l'essentiel comme la résultante de mode de gestion inappropriée des ressources en sol et en eau. L'irrigation altère le bilan hydrique du sol en générant un apport d'eau supplémentaire; cet apport est toujours associé à un apport de sels. En effet, même une eau douce de la meilleure qualité contient des sels dissous et, si la quantité de sels apportée par cette eau peut sembler négligeable, les quantités d'eau apportées au fil du temps entraînent un dépôt cumulé de sels dans les sols qui peut s'avérer considérable (Marlet, 2005).

#### **II.1.5. Effet de salinité sur la croissance et le développement :**

Le stress salin entraîne des modifications morphologiques, mais c'est le poids de la matière végétale sèche et la longueur des tiges qui rendent compte le mieux de la tolérance

ou de la sensibilité des plantes au sel (**BEKKOUCHE, 1992**). La réduction de la croissance est une capacité adaptative nécessaire à la survie d'une plante exposée à un stress abiotique (**ZHU, 2001**). En effet, ce retard de développement permet à la plante l'accumulation de l'énergie et des ressources pour combattre le stress avant que le déséquilibre entre l'intérieur et l'extérieur de l'organisme n'augmente jusqu'à un seuil où les dommages sont irréversibles.

Parmi les modifications morphologiques des plantes au stress salin, on cite : une faible ramification, une diminution de la longueur, du poids frais et sec des tiges et des racines sont constatés sur la tomate. Un raccourcissement des entre-nœuds et une diminution du nombre de nœuds. Une réduction du nombre de feuilles chez le haricot (**HAMZA, 1977**).

La salinité est l'un des facteurs limitant pour la croissance des plantes. Les effets de la salinité sont : l'arrêt de la croissance, le dépérissement des tissus sous forme de nécrose marginales suivi par une perte de turgescence, une chute des feuilles et finalement par la mort de la plante.

## **II.1.6 Adaptation des plantes :**

### **II.1.6.1 Stratégies d'adaptation**

Adaptation à la sécheresse : La résistance à la sécheresse est définie de différentes manières, ce qui explique l'existence de plusieurs classifications (**LEVITT, 1980**) qui suggère trois grands types de résistance à la sécheresse :

1- L'évitement de la sécheresse par la plante grâce à des particules de leur cycle de développements.

2- La tolérance à la sécheresse avec maintien du potentiel hydrique élevé : la plante doit augmenter l'absorption racinaire et/ ou réduire sa transpiration.

3- La tolérance à la sécheresse avec une faible teneur en eau qui se fait par deux mécanismes; maintien de la turgescence cellulaire grâce à l'augmentation du potentiel osmotique et tolérance à la dessiccation. Cette tolérance dépend de la capacité de membranes à résister à la dégradation enzymatique et à la dénaturation des protéines.

## II.2. Stress métallique (ETM):

### II.2.1. Origine :

Les métaux lourds, ou éléments traces métalliques (ETM), sont les éléments de la classification périodique formant des cations en solution. Ces éléments métalliques naturels, métaux ou métalloïdes (**Dung Hunh, 2009**) ont une densité de  $5\text{g/cm}^3$ , et une masse atomique d'environ 40 (**Seregin and Ivanov, 2000**)

Les métaux lourds (MT) sont divisés en deux catégories:

-métaux essentiels ou oligo-éléments, sont des éléments nécessaires à la vie des plantes et se trouvent en faible quantité tels que: le Fer (Fe), le Manganèse (Mn), le Zinc (Zn), le Cuivre (Cu) et le Molybdène (Mo).

-métaux non nécessaires, sont des éléments non indispensables à la vie des plantes et dans certains cas sont toxiques, même à de très basses concentrations dans la plante, de l'ordre du nano gramme ou du microgramme par kilogramme de matière sèche (MS), ils peuvent avoir un effet biologique, c'est le cas, du bore (Br), du plomb (Pb) et du nickel (Ni) et du cadmium (Cd). **Bliefert et al, (2009)**,

### II.2.2. Pollution par les métaux lourds :

#### II.2.2.1. pollution d'origine naturelle (le sol) :

Les métaux lourds trouvés naturellement dans la nature (**Dung Huynh, 2009**), proviennent soit de l'éruption volcanique qui est à l'origine de 80% de l'émission naturelle, soit des feux des forêts et les sources biogéniques (**AbiGahanem., 2008**).

#### II.2.2.2. Pollution d'origine anthropique :

Les métaux lourds d'origine anthropique sont plus importants que ceux, d'origine naturelle, par exemple, le plomb rejeté dans l'environnement par les activités humaines est en quantité 300 fois supérieure que par les processus naturels (**Maaïke et al, 1997**).

#### II.2.2.3. Pratiques agricoles :

Les applications de la fertilisation (**Jin et al., 2010**), notamment les engrais minéraux susceptibles de contenir du cadmium, de l'arsenic, du chrome et du vanadium (**Faurie et al., 1998; Ouanouki, 2009**).

#### II.2.2.4. Source industrielle :

Selon **Michel (1992)**, les industries chimiques, sidérurgiques, métallurgiques rejettent de très nombreux métaux dans la nature. En effet, en (2006), les émissions de mercure s'élèvent à 8 tonnes, les émissions de plomb à 128 tonnes et environ 5000 tonnes par an de mercure sont à l'échelle mondiale rejetées par l'homme (**Dupet, 1984**). Sans oublier, la circulation automobile qui est la cause de 90% du plomb dans l'atmosphère (car il est ajouté à l'essence sous forme de tétraéthyle de plomb ( $\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$ ) comme produit antidétonant, dans les moteurs pour améliorer l'indice d'octane (indice de combustion).

#### II.3.1 Le Plomb :

Le plomb provient du terme latin Plumbum, de symbole (Pb), mou et déformable. Il possède une densité de 11.3 et se retrouve à l'air d'une couleur carbonaté grisâtre. Il n'a ni gout ni odeur caractéristique, de numéro atomique 82 et de poids atomique 207.2. Son point de fusion est de 327.4 0C et sa température d'ébullition est de 15000C (**Larousse 1980**).

#### II.3.2 Propriétés fondamentales:

C'est un élément métallique de couleur gris bleuâtre, de symbole Pb et de numéro atomique 82, peu ou rarement disponible à l'état natif, il est présent dans de nombreux minerais, la galène  $\text{PbS}$ , associé au zinc  $\text{PbZn}$ .

Il existe sous trois formes essentielles: le plomb dissous, le plomb colloïdal et le plomb particulaire.

Sous forme dissoute, les espèces dominantes dans l'eau de mer par exemple sont  $\text{PbCO}_3$ ,  $\text{PbCl}_2$  ou  $\text{PbC}^+$ . Cette répartition ne prend pas en compte la matière organique dissoute et le fait que le plomb, dans l'eau de mer, se trouverait essentiellement sous forme de complexes organiques labiles. De même que pour le mercure, le plomb peut-être méthyle par les bactéries dans les sédiments, mais ce phénomène revêt une moindre importance.

Aussi, le plomb présente une forte affinité pour la matière particulaire. A peine 10 % du plomb se trouve sous cette forme dans l'océan. L'adsorption du plomb sur la matière particulaire est fonction du pH et augmente avec ce dernier.

### **II.3.3. Effets du plomb sur la plante :**

Les plantes cultivées dans un milieu contaminé par le Pb présentent un ralentissement de leur développement et une inhibition de la croissance des racines et des parties aériennes. Leurs feuilles ont généralement une surface inférieure à celle des témoins et des chloroses peuvent apparaître. Dans certains cas la présence de Pb peut mener à une mort des cellules (Ernst, 1998; Seregin et Ivaniov, 2001). Différents dérèglements physiologiques et moléculaires sont à l'origine de ces phénomènes.

### III. La phytoremédiation :

La phytoremédiation(ou phytorestauration) est la dépollution par les végétaux, des sols, des sédiments ou des eaux souterraines.

Les substances toxiques responsables de cette pollution sont soit des molécules organiques comme les pesticides, soit des métauxprésents en quantités importantes. Dans le cas des molécules organiques, les processus de décontamination des sols font souvent appel aux microorganismes telluriques qui sont efficaces dans la dégradation de ces composés ce qu'en fait chuter la toxicité. Il est possible d'utiliser des végétaux dans la même optique : c'est la phytodégradation. (**Michelon. 1999**).

Plusieurs études ont identifié des espèces végétales hyper accumulatrices, principalement des halophytes très prometteuses pour le dessalement des sols salins. Cette capacité de dessalement a été principalement estimée par des mesures effectuées en sols salins et des expérimentations consistant à cultiver des halophytes sur sol salin et à établir le bilan de l'exportation du sel par ces plantes. La comparaison de la salure des sols en début et à la fin de l'expérimentation a également montré l'aptitude des halophytes à extraire une quantité appréciable de sel (**Abdelly, 2006**)

La phytoremédiation regroupe :

- La phytoextraction : utilisation des plantes pour extraire du sol les polluants organiques et les métaux, et les concentrer dans les organes de la plante destinés à la récolte.
- La rhizofiltration : utilisation des racines pour absorber et accumuler les polluants (métaux) des eaux usées,
- La phytostabilisation : utilisation des plantes pour limiter l'érosion et immobiliser les polluants dans les couches superficielles évitant en particulier leur migration vers les eaux de surface et souterraines,
- La phytovolatilisation : utilisation des plantes pour extraire les polluantes du sol et les transformer en composés volatils,

- La phytodégradation : utilisation de l'association plantes microorganismes pour dégrader les polluants organiques du sol. (F .Jemal , 2002).

### **III.1.Principe général de remédiation des sols contaminés :**

Les différentes stratégies de remédiation des sols qui ont été développées suivent l'un des trois principes suivants, voire deux à la fois : immobilisation, destruction ou extraction du polluant. Il existe deux voies générales :

#### **III.1.1le traitement hors site :**

qui consiste à excaver le sol, puis à lui faire subir différents types de traitements : désorption thermique, oxydation ou dégradation biologique, etc. La terre traitée est ensuite réutilisée sur place ou transférée dans un centre de stockage ;

#### **III.1.2 le traitement in situ :**

le sol pollué reste en place et on lui applique des procédés chimiques (oxydation, réduction, lixiviation) et/ou biologiques (atténuation naturelle, phytoremédiation). Par exemple, les polluants organiques peuvent être éliminés en injectant dans le sol des oxydants puissants . On peut aussi décider de laisser faire la nature tout en contrôlant l'évolution : c'est l'atténuation naturelle. On peut même utiliser le potentiel des plantes pour réduire le risque lié aux contaminations : c'est la phytoremédiation. Elle représente aujourd'hui l'une des voies possibles pour traiter de grandes surfaces contaminées, et faire passer la friche à une surface traitée qui peut être ensuite utilisée pour d'autres objectifs. (Jean-Louis, 1983)

La phytoremédiation présente de nombreux intérêts, d'ordre environnemental et économique. Elle permet d'abord de conserver le paysage agréable, contrairement à d'autres méthodes de dépollution qui le transforment. Ensuite, il est parfois possible de réutiliser les sols en agriculture après leur décontamination. Enfin, économiquement, elle est souvent plus avantageuse que les autres méthodes. Ceci est dû au fait que la phytoextraction entraîne la production de produits secondaires utilisables, qui sont donc des sources de rentabilité. Ainsi, les métaux qui ont été extraits (via les cendres) peuvent être vendus et réutilisés, et l'incinération de la récolte permet la production d'énergie utilisable (électricité, chauffage). (Philippe, 2005).

**III.2 Avantages :**

Les techniques de phytoremédiation préservent l'activité biologique et participent à l'embellissement des paysages. Les perturbations de l'environnement sont minimales car on utilise du matériel végétal vivant. De ce fait, les bioremédiations comme les phytoremédiations requièrent en général moins d'équipement et de personnel spécialisés. Leur coût va de même puisqu'il est estimé de 10 à 100 fois moins coûteux que les techniques classiques (Vanobberghen, 2010). Une utilisation à grande échelle peut alors être plus facilement envisageable. Le public apprécie ces techniques car elles s'inscrivent dans une démarche de développement durable plus douce que les techniques classiques plus brutales. Contrairement aux techniques classiques, la phytoremédiation ne produit pas de résidus stériles. Elle génère également une biomasse qui peut être réinjectée dans le cycle de la matière organique, dispersée dans des matériaux de constructions, stockée dans des centres d'enfouissement et/ou brûlée pour produire de l'énergie et récolter les cendres pour en recycler les métaux lourds. Les biotechnologies, autant que les techniques classiques, ne sont pas exclusives les unes par rapport aux autres mais présentent l'avantage de pouvoir être combinées et devenir complémentaires entre elles.

**III.3 Inconvénients :**

Les inconvénients des techniques de phytoremédiation sont encore nombreux. Ils sont liés à un manque de connaissances mais aussi à la difficulté inhérente à la gestion d'un matériel vivant. Pour appliquer les techniques de phytoremédiation, il est nécessaire, à travers des analyses préalables, de s'informer le mieux possible sur les propriétés physico-chimiques du terrain : type de sol (caractéristiques minéralogiques, granulométriques, microbiologiques, éco toxicologiques...), type de contaminants, concentration/ distribution/ biodisponibilité des contaminants, etc. Cependant, il semble qu'une des difficultés rencontrées lors de la réalisation d'études sur la phytoremédiation est la détermination de la mobilité et l'évaluation de la biodisponibilité des métaux lourds. L'évaluation de la disponibilité se fait en appliquant sur des échantillons de sol des réactifs sélectifs et relativement peu agressifs que l'on classe en plusieurs groupes : les acides, les agents chélatants et les solutions salines. Les extracteurs acides (HCl, eau régale...) peuvent extraire presque toute la portion de métal d'un substrat. Les agents chélatants (EDTA19...) et les solutions salines tampons sont capables d'extraire la portion potentiellement mobile du métal. Les solutions

salines neutres ( $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{MgCl}_2$ ...). Ont été introduites pour simuler les solutions du sol naturel et sont utilisées pour évaluer la pertinence écologique des métaux.

Un inconvénient majeur de ces techniques est la limitation de l'action des plantes en profondeur liée à une capacité d'enracinement comprise entre 0,5 à 1 mètre pour les herbacées et entre 2 à 4 mètres pour les arbres et arbustes. D'autant plus que les racines ne sont pas perpétuellement en contact avec le sol contaminé, ce qui diminue la stabilisation ou le prélèvement de métaux.

#### **III.4. Utilisation d'*Atriplex* en phytoremédiation :**

Les espèces du genre *Atriplex* sont souvent utilisées dans la réhabilitation de sites difficiles; ces espèces sont tolérantes au bore et des teneurs importantes en cet élément (jusqu'à 610 mg/kg MS) ont été quantifiées dans les tissus de *Atriplexcanescens* et *Atriplexpolycarpa* poussant sur des sols miniers (Chatterton et al, 1969). De même des espèces d'*Atriplex* annuelles sont connues pour contenir de fortes teneurs en fer (Fe), en manganèse (Mn) et en aluminium (Al) (Voorhees, 1990; Voorhees et al., 1991).

Dans la majorité des cas, les espèces du genre *Atriplex* sont testées à des fins de phytostabilisation plutôt que dans un but de phytoextraction. C'est particulièrement le cas pour l'espèce américaine *Atriplexcanescens* L., qui permet d'assurer la stabilisation dans les horizons superficiels du sol d'éléments comme barium (Ba), chrome (Cr) et nickel (Ni) (McFarland et al., 1994).

#### **III.5. Les mécanismes impliqués dans la tolérance aux métaux chez les plantes :**

Il est possible de considérer trois niveaux de contrôle de la toxicité des métaux chez les végétaux. Le premier niveau concerne l'absorption et la distribution de l'ion métallique à travers la plante. Le deuxième met en jeu des systèmes de stockage et de détoxification. Enfin le troisième consiste en la mise en place de processus réduisant le stress oxydatif engendré par la forte concentration intracellulaire des ions métalliques.

##### **III.5.1. L'absorption et le transport :**

A ce jour, peu de données existent sur la caractérisation moléculaire de transporteurs membranaires d'ion métalliques chez les plantes. Les principales études ont été réalisées sur l'absorption du fer. Un transporteur de fer ferreux ( $\text{Fe}^{3+}$ ) a été caractérisé chez

*Arabidopsis thaliana*. Mais des études physiologiques indiqueraient que ce système n'est pas spécifique d'un métal donné. D'autre part, il est aussi démontré que la carence en fer ou en cuivre de certains sols activent l'expression de gènes codant des transportés. Ceux-ci peuvent alors véhiculer d'autres métaux présents dans le sol à des concentrations toxiques (**Briat et al 1999**).

Après absorption, les métalliques peuvent être transportés les parties aériennes via le xylème (**Cataldo et al 1988**). En étant pris en charge par des acides organiques comme le citrate ou des acides Aminés comme l'histidine (**Kramer et al 1996**). Un transport par le phloème a aussi été démontré (**Stephan I, et al 1993**). Il faut intervenir une molécule dérivée de la méthionine, la nicotiamine (**Shojima S, et al 1990**).

### **III.5.2 Le stockage et la détoxification :**

Une fois les ions métalliques absorbés et distribués dans les cellules de la plante, ceux-ci sont pris en charge par diverses molécules pour être stockés sous des formes non toxiques. Des protéines spécifiques comme les ferritines (**Harrison et al 1996**), stockant le fer dans les plastes, et les métallothionéines (**Hamer 1986**), Prenat en charge le cuivre et le zinc dans le cytoplasme assurent une partie de ce stockage intracellulaire des métaux.

### **III.5.3. Les réponses au stress oxydatif :**

Une accumulation trop importante de métaux peut générer un stress oxydatif chez les plantes qui réagiront en activant des mécanismes de défense. Par exemple, un excès de fer libre provoque des déséquilibres dans les rapports glutathion oxyde et ascorbate-déhydroascorbate. La synthèse d'ascorbateperoxidase et de Cu-Zn superoxidedismutase augmente alors en cas de toxicité ferreuse. Dans le cas d'une toxicité aluminique, la synthèse de peroxidase, de Cu-Zn superoxidedismutase et de glutathion transférase est stimulée (**Briat, et al, 1999**).

## IV.MATERIEL ET METHODES :

### IV.1 Matériel végétal :

Notre travail a pour objectif de déterminer le comportement écophysologique d'espèce d'*Atriplex halimus* sous l'effet d'un stress métallique (Plomb) et salin induit par différentes doses de NaCl, en analysant des paramètres biométriques et physiologiques.

Le matériel végétal que nous avons utilisé correspond à des graines d'*Atriplexhalimus L (Pursh)* Nutt. Elle s'étend du littoral jusqu'aux terres intérieures. Mostaganem à l'ouest d'Alger.

### IV.2 Site expérimentale :

Cette étude a été réalisée sous une serreen verre au sain de l'atelier agricole situé à Mazagran à 5 km environ de la ville de Mostaganem.



**Photo(3): le site expérimental.**

### IV.3Méthodes :

#### IV.3.1 Préparation du substrat de culture :

Le substrat de culture utilisé le mélange de sable et le terreau (1V+2V).

- Un tamisage approprié afin de supprimer les différents débris et déchets dans le but d'obtenir un sable fin,
- Un traitement à l'esprit de sel pour éliminer les carbonates, les chlorures, etc.,
- Des lavages successifs à l'eau ordinaire,
- Des rinçages répétés à l'eau distillée sont appliqués afin d'essayer d'éliminer toute trace de chlore,

- Et enfin, un séchage à l'air libre. Un test au nitrate d'argent a été réalisé pour vérifier la pureté du substrat concluant la limpidité de la solution.



**Photo (4): Méthode de préparation des sables.**

#### **IV.3.2. Préparation des pots et repotage du sable substrat:**

Des pots en plastiques de 16 cm de diamètre et de 13.8 cm de hauteur sont remplis par une quantité de 1Kg de mélange sable et terreau (1 volume de sable / 2 volumes de tourbe). Cette valeur de poids est retenue pour déterminer la capacité de rétention de ce substrat.

#### **IV.3.3. Germination :**

Au laboratoire, nous avons préparé au préalable les graines en les décortiquant de leur bractée afin de faciliter la germination. Ensuite, les graines sont sélectionnées selon leur morphologie, leur taille, leur couleur (brune) et leur aspect sanitaire (absence de contaminations). puis elles sont rincées plusieurs fois à l'eau distillée.

Les graines sont ensuite semées dans des alvéoles pour la production de plantules. Le substrat contenu dans les alvéoles est constitué de terreau, arrosé avec de l'eau distillée, une fois par deux jours, pendant au moins un mois et demi, jusqu'au développement des plantules.



Photo(5) : Germination des grains d'*Atriplex Halimus L.* pendant 15 jours.

Tableau (1):Dispositif expérimental adopté dans la serre

Dose de NaCl(en%)	Doses du plomb (ppm)	Nombre total de pots
0 %	0 ppm	4
	800 ppm	4
	1600 ppm	4
	2400 ppm	4
0,5 %	0 ppm	4
	800 ppm	4
	1600 ppm	4
	2400 ppm	4
3 %	0 ppm	4
	800 ppm	4
	1600 ppm	4
	2400 ppm	4

**Total : 48pots**

#### IV.3.4 Repiquage :

Au bout de cinq semaines après l'apparition des premières feuilles (stade cinq à six feuilles), les plantules sont repiquées soigneusement à raison d'une plantule par pot, puis déposés sous serre. Tous les deux jours, ces plantules sont arrosées à la solution nutritive de HOAGLAND (1938) (Tableau 2 ) diluée au 1/1000ème et ramenée à 30% de la capacité de rétention du substrat( 1V Sable +2V terreau).



**Photo (6) : Dispositif expérimental adopté à la serre d'*Atriplex halimus.L* 35 jours.**

#### IV.3.5 Préparation des solutions d'arrosage :

##### IV.3.5.1 La solution nutritive :

Au cours de l'élevage des plantes, l'arrosage se fait tous les deux jours à la solution nutritive(1 mois). Elle se compose d'un ensemble de solutions mères de micro éléments et de macroéléments, rapportées dans le tableau(2).

Les plantes témoins sont arrosées à la solution nutritive.

**Tableau (2): Composition chimique de la solution Hoagland.**

Produit	Composition	Concentration en g/l
Nitrate de potassium	$\text{KNO}_3$	191.90
Nitrate de calcium	$(\text{NO}_3)_2\text{Ca} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	129.80
Nitrate d'Ammonium	$\text{NO}_3\text{NH}_4$	210
Sulfate de magnésium	$\text{SO}_4\text{Mg} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	61.5
Phosphate monopotassique	$\text{PO}_4\text{H}_2\text{K}$	54.40
Dipotassium hydrogénophosphate	$\text{PO}_4\text{K}_2\text{H} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	34.23
Chlorure de manganèse		
Sulfate de cuivre	$\text{Cl}_2\text{Mn} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1.80
Sulfate de zinc	$\text{Cu SO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0.176
Acide borique	$\text{Zn SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.219

Molybdate d'ammonium	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	2.861
Complexe ferrique	MO <sub>7</sub> O <sub>24</sub> (NH <sub>4</sub> ) 7H <sub>2</sub> O	0.285
	EDTAferrique(C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> FeN <sub>2</sub> NaO <sub>8</sub> )	0.050

#### IV.3.5.2 Préparation de la solution saline :

La solution saline est préparée avec le chlorure de sodium de formule chimique (NaCl) à deux concentrations 0.5% et 3% (5mios).

Préparation d'une concentration de 0.5% de NaCl

$$3\% \rightarrow 30 \text{ g/l} \quad x = (30 \times 0.5) / 3 = 5 \text{ g/l}$$

$$0.5\% \rightarrow x$$

$$5 \text{ g} \rightarrow 1000 \text{ ml} \quad x = (1800 \times 5) / 1000 = 9 \text{ g}$$

$$X \rightarrow 1800 \text{ ml}$$

#### IV.3.5.3 Solution métallique :

Les substrats choisis reçoivent quatre traitements du plomb en utilisant une solution de nitrate de plomb (PbNO<sub>3</sub>) Tableau (2). Chaque concentrations soit: 0 ppm, 800 ppm, 1600 ppm et 2400 ppm et pour chaque traitement on a réalisé 4 répétition (1mions).

**Tableau (3) : Composition de la solution de nitrate de plomb.**

Doses du plomb	PbNO <sub>3</sub>
0 ppm	0 g/l
800 ppm	0,8 g/l
1600 ppm	1,6 g/l
2400 ppm	2,4 g/l

**IV.3.5.4. Préparation de la solution du plomb :**

La solution du plomb est préparée avec le nitrate de plomb de formule chimique ( $PbNO_3$ ) à deux concentrations 800ppm, 2400ppm.

Préparation d'une concentration de 800ppm de  $PbNO_3$

$$1 \text{ ppm} \longrightarrow 1 \text{ mg/l} \quad x = (800 \times 1) / 1 = 800 \text{ mg/l} \longrightarrow 0,8 \text{ g/l}$$

$$800 \text{ ppm} \longrightarrow x$$

**Photo (7): Dispositif expérimental adopté à la serre pour espèce d'*Atriplex halimus L.***



**Bloc T1 0% de NaCl .**



**Bloc T2 0,5 % de NaCl .**



### Bloc T3 3% de Na Cl .

#### IV.3.6. Teneur en eau relative :

Le contenu relatif en eau est mesuré à partir des masses fraîches (FW), turgescente (TW) et sèche (DW) d'un matériel végétal, les feuilles le plus souvent. Il est donné par l'équation de **Barrs et al** (1968),

$$\text{RWC (\%)} = [(FW-DW) / (TW-DW)] \times 100.$$

La masse fraîche est mesurée immédiatement après le prélèvement des feuilles. La masse turgescente est obtenue après 24h de contact de la feuille avec du papier filtre humide, en atmosphère confinée à 4°C et à l'obscurité. La masse sèche est obtenue après 48h de séchage dans une étuve à 60°C (poids constant).

- Couper le limbe foliaire.
- Peser pour déterminer le poids frais. (PF)
- Placer les feuilles dans un tube à essai contenant l'eau distillée puis maintenu à l'obscurité à 4°C pendant 12 heures.
- Récupérer et essayées délicatement avec un papier et à nouveau pesées (c'est le poids en pleine turgescence P pt.
- Le poids sec est déterminé à près passage des feuilles dans une étuve pendant 48 heures à 60°C.

#### IV.3.7 Dosage de la proline :

La technique utilisée pour le dosage de La proline est celle de **Troll et al**, améliorée par **Monneveux et al** (1986), qui consiste à mettre (0.1g) de la matière

végétale sèche dans un tube à essai et ajouter 2ml de méthanol à 40%, l'ensemble est ensuite chauffé au bain-marie à 60<sup>0</sup> C pendant 60 minutes ; les tubes sont recouverts de papier aluminium pour éviter la volatilisation de l'alcool.

Après refroidissement, on prélève 1ml de la solution, à laquelle on ajoute 1ml d'acide acétique (CH<sub>3</sub>COOH) et 1ml de mélange réactionnel modifié contenant (120ml d'eau distillé+300ml d'acide acétique + 80ml d'acide ortho phosphorique) et 0.025 mg de Ninhydrine.

Les solutions sont portées à ébullition pendant 30minutes, elles virent au rouge; après refroidissement, on ajoute 5ml de toluène, après agitation deux phases se séparent:

- 1- La phase inférieure sans proline.
- 2- La phase supérieure qui contient la proline, celle-ci est ensuite récupérée et déshydratée par l'adjonction de NaSO<sub>4</sub>.

Enfin on procède à la détermination de la teneur en proline des échantillons par la lecture au spectrophotomètre à la longueur d'onde 525nm, après étalonnage de l'appareil par le mélange (acide acétique+ eau distillée+ acide ortho phosphorique + Ninhydrine). La teneur des échantillons inconnus est déterminée par la suite grâce à une courbe d'étalonnage.

#### IV.3.8 Dosage de la chlorophylle:

L'extraction de la chlorophylle (a) et (b) est réalisé selon la méthode de Francis et al (1970), qui consiste en une macération des feuilles (0.1g) dans 10ml d'un mélange de l'acétone et de l'éthanol (75% et 25%) de volume et de (80% et 20%) de concerne (pour éviter l'oxydations de la chlorophylle par la lumière), après 48h, on procède à la lecture des densités optiques des solutions avec un Spectrophotomètre UV, à deux longueurs d'ondes : (645 et 663nm). La détermination des teneurs est réalisée selon les formules suivantes :

$$\text{Chl a } (\mu\text{g/g MF}) = 12,7 \times \text{DO (663)} - 2,59 \times \text{DO (645)} \times V / (1000 \times W).$$

$$\text{Chl b } (\mu\text{g/g MF}) = 22,9 \times \text{DO (645)} - 4,68 \times \text{DO (663)} \times V / (1000 \times W).$$

$$\text{Chl (a+b)} (\mu\text{g/g MF}) = \text{Chl a} + \text{Chl b}.$$

**V** : volume de la solution extraite; **W**: le poids de matière fraîche de l'échantillon.

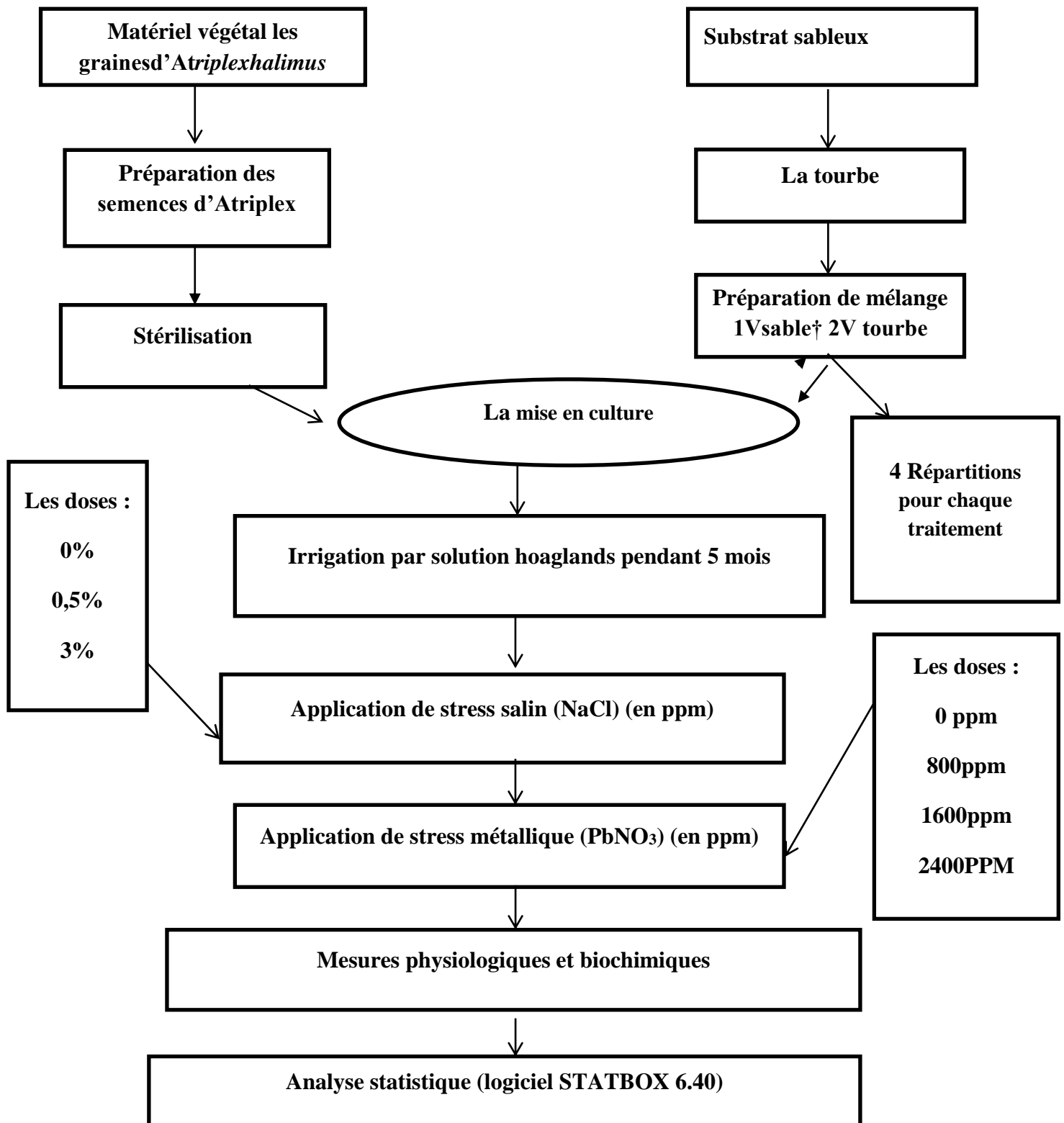
#### **IV.3.9 Dosage des sucres solubles :**

Les sucres solubles sont dosés par la méthode **Shields et al (1960)**, qui utilise l'anthrone en milieu sulfurique, l'extraction des sucres solubles se fait après macération de 0.1g de matière végétale dans 3ml d'éthanol à 80% pendant 48 heures. Ensuite faire passer les tubes au rotavapor pour l'évaporation de l'éthanol, et mettre 20ml d'eau distillée dans la totalité de l'extrait. Préparation du réactif à l'anthrone: au moins 4 heures à l'avance (mettre 0.2 g d'anthrone pur dans 100 ml d'acide sulfurique pur).

On prélève 2ml de l'extrait dans les tubes à essai puis on ajoute 4ml du réactif à l'anthrone. On place les tubes au bain-marie à 62<sup>0</sup>C pendant 8 minutes. Ensuite on les met dans un bain de glace pour les refroidir afin d'arrêter la réaction. Enfin, procéder à la lecture au spectrophotomètre à 585nm après un repos de 30minutes à l'obscurité. La détermination du contenu en sucres solubles est faite sur la base d'un courbe étalon réalisé avec des concentrations connues de glucose.

#### **IV.4. Analyse statistique:**

Les données obtenues sont soumises à une analyse de la variance à deux Facteurs en randomisation fixes de classification, les moyennes sont comparées selon la méthode de **Student et al**, réalisés par le logiciel STATBOX 6.40. On considère que les résultats sont. On a aussi utilisé l'Excel pour la construction des graphes et pour calculer la moyenne et l'écartype.



**Fig. (3) : Le protocole expérimental adopté.**

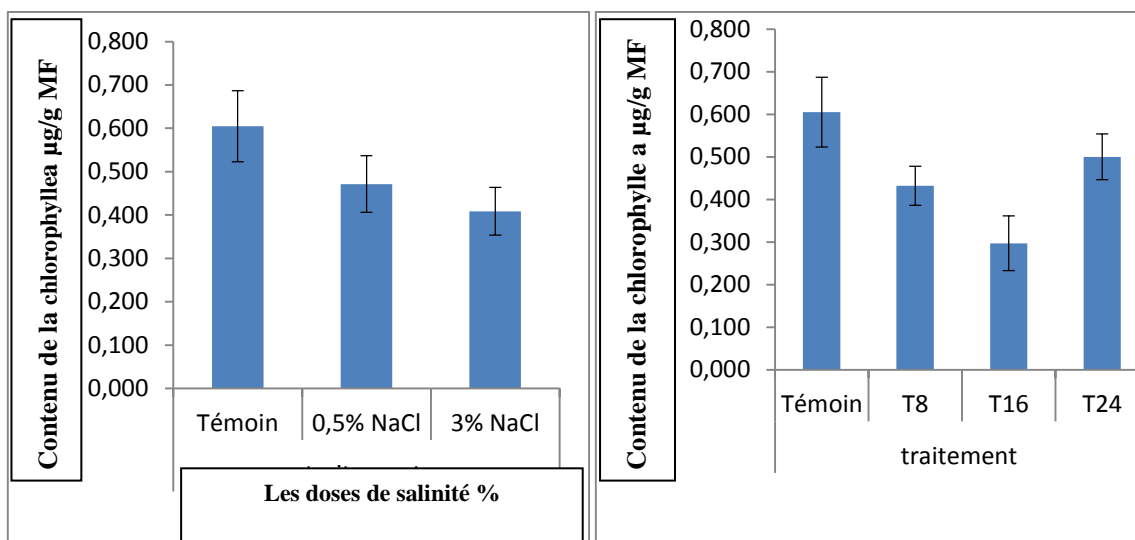
**V. Résultat et discussion :**

**V.1 L'effet combiné du stress salin et métalliques sur la chlorophylle:** Les figure 02, 03, 04, 05, 06 et 07 représentent la teneur en chlorophylle de l'espèce étudiée *Atriplex halimus L.* en fonction de l'intensité du stress métallique (0, 800, 1600 et 2400 ppm) et stress salin (0, 0,5 % 3%).

**V.1.1 L'effet combiné du stress salin et métalliques sur la chlorophylle(a) :**

**Tableau (4) :** Teneurs moyennes en chlorophylles a, chlorophylle b et chlorophylle totale chez *Atriplex halimus L.* Stressées au plomb et de NaCl.

Dose de NaCl (%)	Dose de plomb (ppm)	Chlorophylle a	Chlorophylle b	Chlorophylle (a+b)
0	0	0,605	0,285	0,89
	800	0,432	0,209	0,641
	1600	0,297	0,185	0,482
	2400	0,5	0,261	0,761
0.5	0	0,471	0,283	0,89
	800	0,417	0,21	0,641
	1600	0,391	0,17	0,482
	2400	0,303	0,163	0,761
3	0	0,409	0,16	0,568
	800	0,424	0,235	0,659
	1600	0,448	0,193	0,642
	2400	0,408	0,218	0,626



**Fig (2) :** L'effet du stress salin et métallique sur la chlorophylle (a).

#### **-A 0.5% et 3% de Na:**

Selon la figure (2) on remarque que les teneurs en **chlorophylle (a)** chez les plantes stressées au NaCl enregistrent une diminution inversement proportionnelle avec l'accroissement de la dose du NaCl. Comparativement aux plantes témoins les plantes stressées au NaCl enregistrent les valeurs de la **chlorophylle (a)** les plus faibles.

Le test de comparaison des moyennes de la **chlorophylle (a)** chez les plantes témoins avec les moyennes de la **chlorophylle (a)** chez les plantes stressées au dose,3% résulte un effet significatif sur le contenu en **chlorophylle (a)**, par contre la comparaison des moyennes de la **chlorophylle (a)** chez les plantes témoins avec les moyennes de la **chlorophylle (a)** chez les plantes stressée à la dose 0.5% ne déclenche aucun effet significatif.

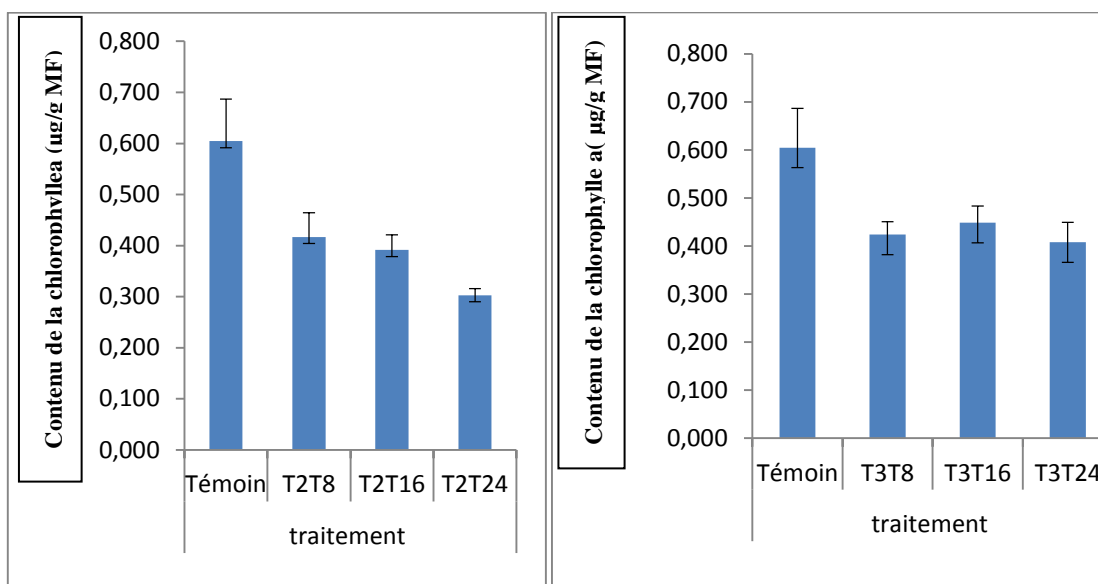
#### **-A 0 % NaCl :**

D'après la figure (2) on remarque que la réponse des plantes contre le stress métallique se traduit par une diminution de la teneur en **chlorophylle(a)** par rapport aux plantes témoin.

Les plantes stressées à la dose 1600ppm de plomb enregistrent une réduction importante par rapport aux autres plantes stressées aux doses 800,2400 ppm de plomb.

Le test de comparaison des moyennes de la **chlorophylle (a) chez les plantes témoins** avec les moyennes de la **chlorophylle (a) chez les plantes stressées** à la dose 1600

ppm résulte un effet significatif, par contre la comparaison des moyens de la **chlorophylle (a)** chez les plantes témoins avec les moyennes de la **chlorophylle (a)** chez les plantes stressées aux doses (800,1600 ppm) ne déclenche aucun effet significatif.



**Figure (3):** L'effet combiné de la salinité et du plomb sur la chlorophylle (a).

#### -A 0,5% NaCl :

Selon la figure (3) on note que les teneurs en **chlorophylle (a)** chez les plantes stressées au plomb enregistrent une diminution inversement proportionnelle avec l'accroissement de la dose du plomb. Comparativement aux plantes témoins les plantes stressées au plomb enregistrent les valeurs de la **chlorophylle (a)** les plus faibles. Le taux de la réduction de la **chlorophylle (a)** est largement important chez les plantes reçoivent de la dose 2400ppm de plomb soient (50,41%..).

Le test de comparaison des moyens du contenu en **chlorophylle (a)** dans les plantes témoins avec les moyennes du contenu en **chlorophylle (a)** dans les plantes traitées aux doses 800, 1600 ,2400 ppm montre un effet hautement significatif sur la **chlorophylle (a)**.

#### -A 3% NaCl :

L'analyse de la figure (3) montre que la teneur en **chlorophylle(a)** chez les plantes stressées diminué par rapport la teneur en **chlorophylle (a)**chez les plantes témoin.

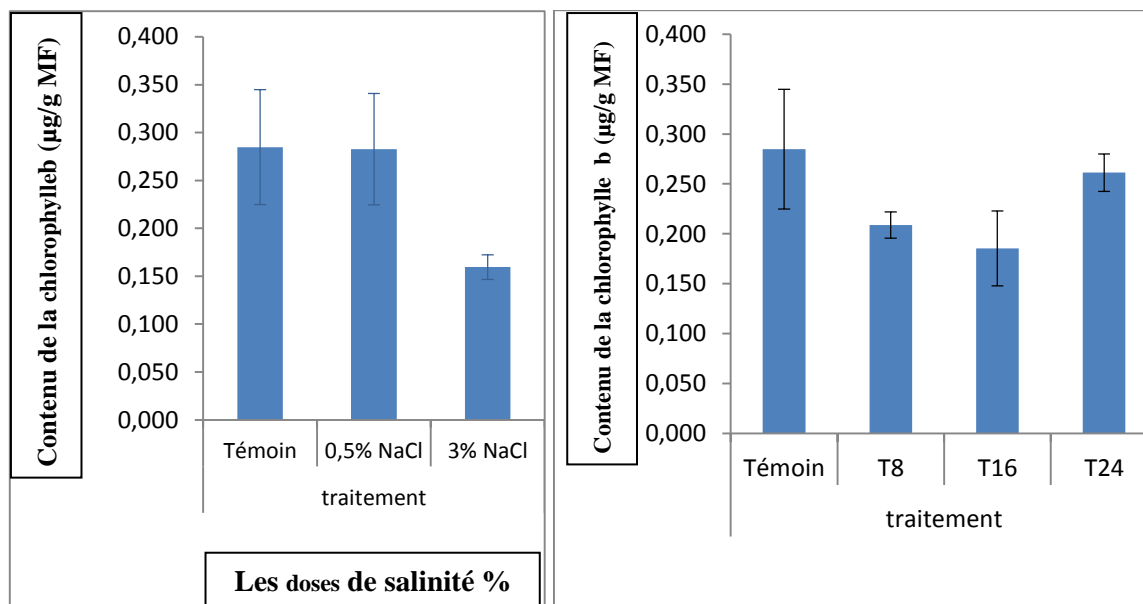
Les plantes cultivées dans le milieu 3% de NaCl stressées au plomb enregistrent des valeurs importantes en comparaison aux autres plantes dans le milieu 0,5% de NaCl et stressées de la même doses de plomb.

Le test de comparaison des moyennes de la **chlorophylle (a)** chez les plantes témoins avec les moyennes de la **chlorophylle (a)** chez les plantes stressées aux doses 800 ,2400 ppm résulte un effet significatif sur le contenu en **chlorophylle (a)**, par contre la comparaison des moyennes de la **chlorophylle (a)** chez les plantestémoins avec les moyennes de la **chlorophylle (a)** chez les plantes stressée à la dose (1600 ppm) ne déclenche aucun effet significatif.

Analyse statistiques de student à  $P=5$  montre que l'effet du stress métalliques, l'effet de l'interaction entre le plomb et le NaCl, est hautement significatif sur le contenu en **chlorophylle(a)**.

En revanche le stress salin ne résulte aucun effet significatif sur la **chlorophylle(a)**.

#### V.1.2 L'effet combiné du stress salin et métalliques sur la chlorophylle(b) :



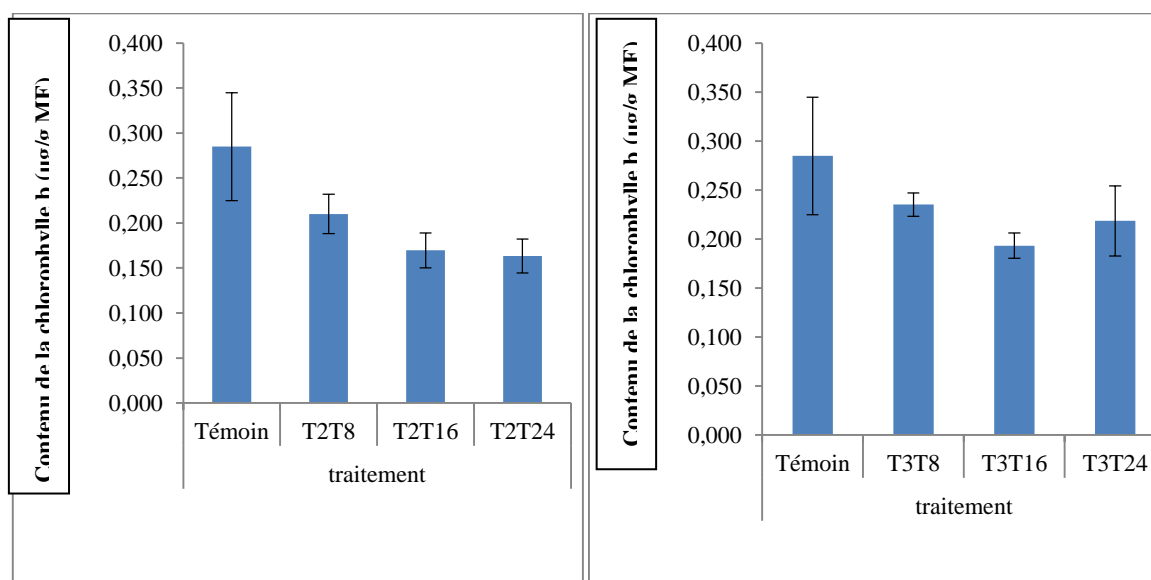
**Figure(4) :** L'effet combinée de la salinité du plomb sur la chlorophylle (b).

##### -A0.5%et 3% NaCl:

A partir de la figure (4) on remarque que le contenu en **chlorophylle (b)** est faible chez les plantes stressées au plomb comparativement aux plantes témoins.

Les plantes qui ont reçu la doses 2400ppm de plomb sont celles qui enregistrent le contenu important en **chlorophylle (b)** soit (0.26  $\mu\text{g/g}$  MF) en comparaison aux autres stressées aux doses (800ppm, 1600ppm).

Le test de comparaison des moyennes de contenu en **chlorophylle (b)** ne montre aucun effet significatif chez les plantes stressées au plomb par rapport au témoin.



**Figure(5) :** L'effet combiné du stress salin et stress métallique sur la chlorophylle(b).

#### -A 0.5% NaCl :

Selon la figure (5) on observe une diminution inversement proportionnelle de la teneur en **chlorophylle (b)** avec l'accroissement de la dose du plomb, le contenu de chlorophylle (b) chez les plantes stressés au plomb enregistrent des valeurs faible (0.201 ,0.170, et 0.16  $\mu\text{g/g}$ ) comparativement aux plantes témoin (0.285 $\mu\text{g/g}$ ).

Le taux de réduction en **chlorophylle (b)** par rapport aux plantes témoins dans les plantes stressés à la dose 2400 ppm de plomb est le plus important avec une valeur de (57.17%).

Le test de comparaison des moyennes de la **chlorophylle (b)** chez les plantes témoins avec les moyennes de la **chlorophylle (b)** chez les plantes stressées nedéclenche aucun effet significatif.

#### -A 3% NaCl :

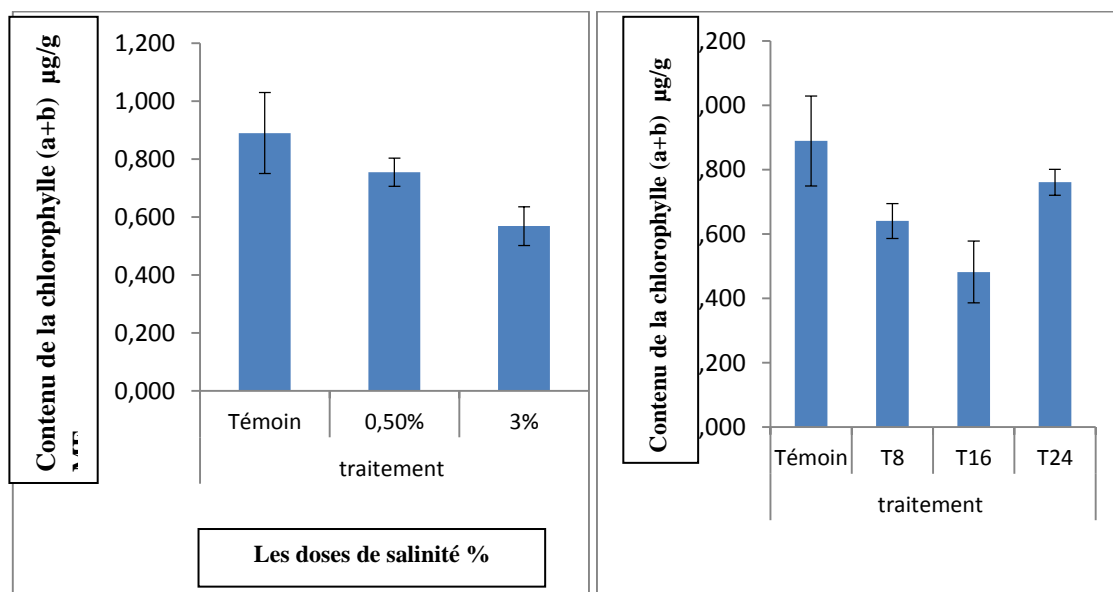
D'après la figure (5) il est noté que les valeurs de la **chlorophylle (b)** dans les plantes stressés au plomb toujours diminué comparativement aux les plantes non stressées.

Le pourcentage de réduction en **chlorophylle (b)** dans les plantes stressés varie entre (17,55% et 32,29) avec des valeurs (0,235 et 0,161  $\mu\text{g/g}$ ) respectivement.

Le test t de comparaison des moyennes de la **chlorophylle (b)** chez les plantes témoins montre que l'effet de stress est non significatif sur le taux de la chlorophylle totale par rapport aux plantes non stressées.

L'Analyse statistiques de student à  $P=5$  montre un effet significatif du plomb sur la teneur en **chlorophylle (b)**, ainsi que l'interaction entre le plomb et le NaCl résulte un effet hautement significatif. Par contre le stress salin ne déclenche aucun effet significatif sur la **chlorophylle(b)**.

### V.1.3 effet combiné de stress métallique et stress salin sur la chlorophylle (a+b) :



**Figure(6) :** L'effet de salinité et du plomb sur la chlorophylle (a+b).

#### -A0.5% et 3% NaCl :

D'après la figure (6) on remarque que la réponse des plantes contre le stress métallique se traduit par une diminution de la teneur en **chlorophylle (a+b)** par rapport aux plantes témoin.

Les plantes stressées à la dose 1600ppm de plomb enregistrent une réduction importante en comparaison aux autres plantes stressées aux doses 800,2400 ppm de plomb avec un taux de réduction 47.41% par rapport aux plantes témoin.

Le test de comparaison des moyennes de la **chlorophylle (a+b)** chez les plantes témoins avec les moyennes de la **chlorophylle (a+b)** chez les plantes stressées au dose 1600 ppm résulte un effet significatif. Par contre la comparaison des moyennes témoins avec les plantes stressés aux doses 800 ,2400 ppm ne déclenche aucun effet significatif.

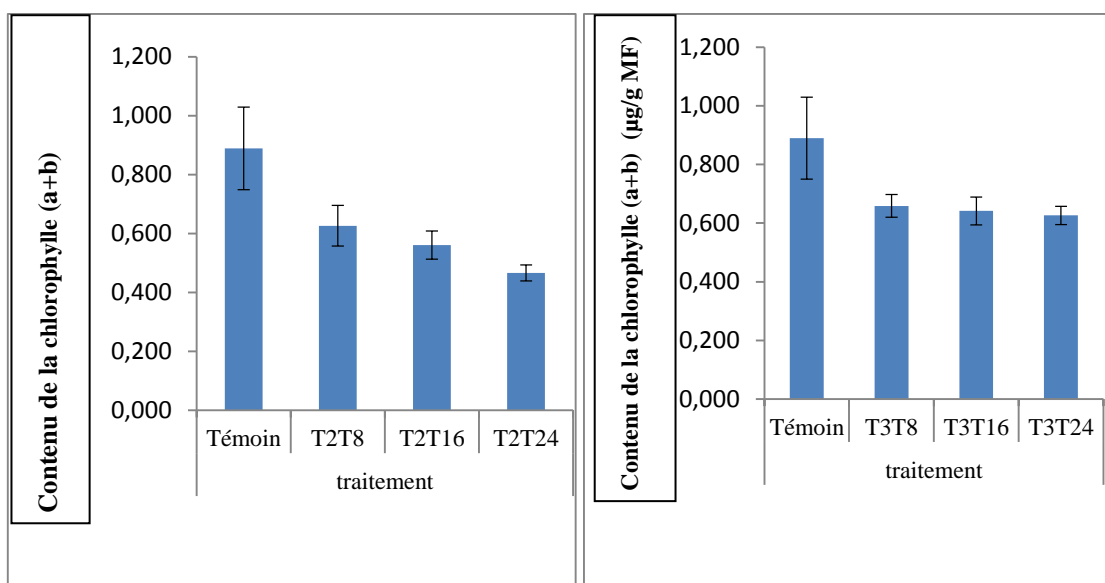
#### **-A 0% NaCl :**

L'examen de la figure (6) montre que le contenu en **chlorophylle (a+b)** chez les plantes stressés diminue avec une manière inversement proportionnelle avec l'augmentation des doses de NaCl.

Le taux de réduction en **chlorophylle (a+b)** par rapport aux plantes témoins dans les plantes stressés à la dose 3% NaCl est le plus important avec une valeur de (63.83%).

Le test de comparaison des moyennes de la **chlorophylle (a+b)** chez les plantes témoins avec les moyennes de la **chlorophylle (a+b)** chez les plantes stressées à la dose 3% résulte un effet significatif sur le contenu en **chlorophylle (a+b)**, par contre la comparaison des moyennes de la **chlorophylle (a+b)** chez les plantes témoins avec les moyennes de la **chlorophylle (a+b)** chez les plantes stressée à la dose 0.5% ne déclenche aucun effet significatif.

L'Analyse statistiques de student à  $P=5$  ne montre aucun effet significatif du NaCl et du plomb, ainsi que l'interaction entre le plomb et le NaCl sur la teneur en chlorophylle.



**Figure(7) :** L'effet combinée de la salinité du plomb sur la chlorophylle (a+b).

#### -A 0,5% NaCl :

Selon la figure (7) on remarque que la teneur en **chlorophylle (a+b)** des plantes stressées enregistre une diminution claire par rapport aux plantes témoin. On note également que cette diminution est inversement proportionnelle avec l'accroissement du stress métallique.

Les plantes stressés à la dose 2400 ppm de plomb enregistre une réduction importante (52.35%) par rapport aux plantes témoin comparativement aux autres stressés aux doses 800, 1600 ppm).

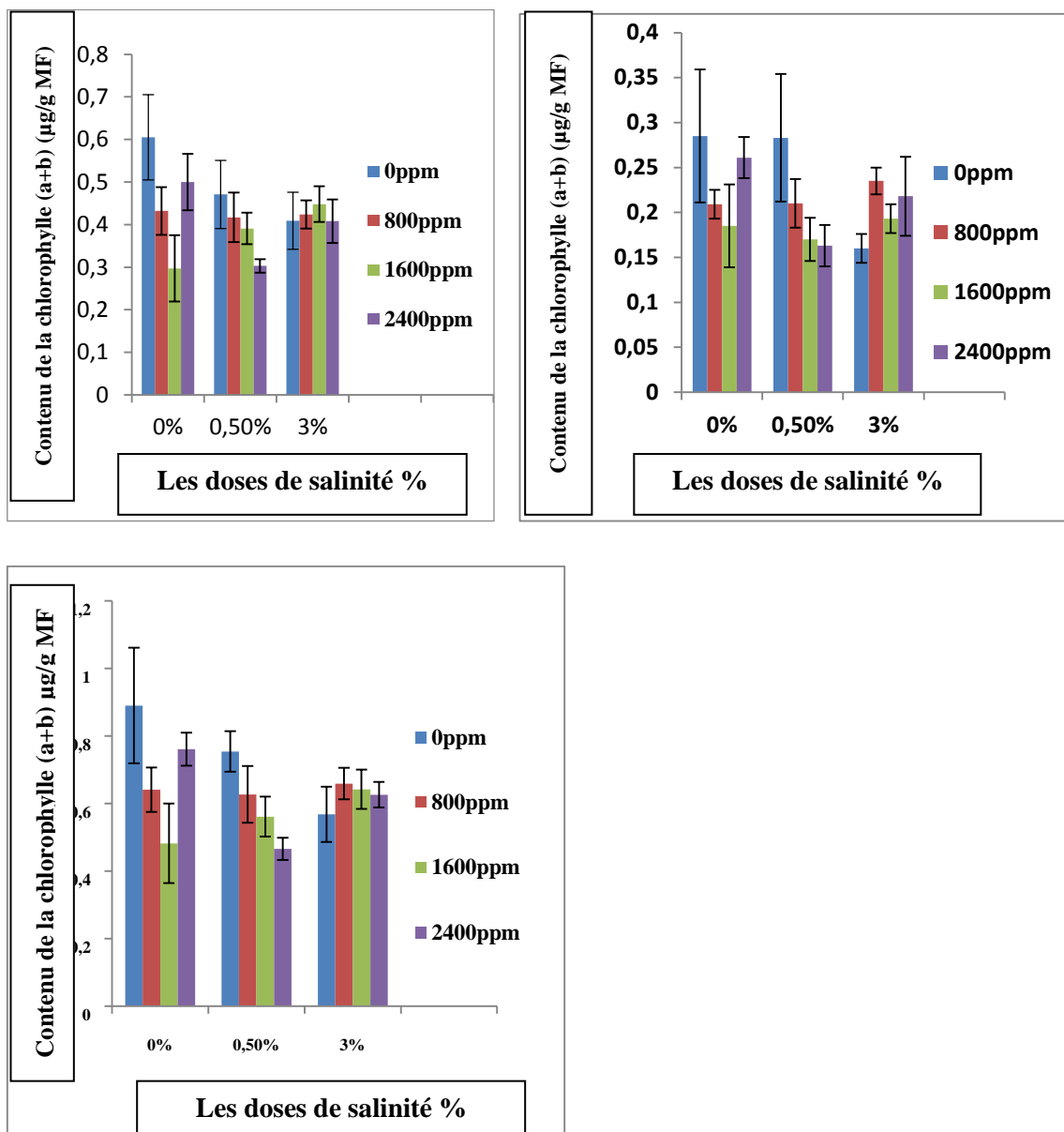
Le test de comparaison des moyennes témoins de la **chlorophylle(a+b)** avec les moyennes de la **chlorophylle(a+b)** aux doses 1600, 2400 ppm révèle un effet significatif. Par contre la comparaison des moyennes témoins avec les plantes à la dose 800 ppm est non significatif.

#### -A 3% NaCl :

Selon la figure (7) : on note que le stress métallique et le stress salin se traduit par une diminution inversement proportionnelle de contenu en **chlorophylle (a+b)** avec l'augmentation de la dose appliquée du plomb.

Le contenu en **chlorophylle (a+b)** est optimal chez les plantes non stressées 0.890 µg/g.

Le test de comparaison des moyennes témoins de la **chlorophylle (a+b)** avec les moyennes de la **chlorophylle (a+b)** aux doses 800,1600, 2400 ppm ne déclenche aucun effet significatif.



**Figure(9) :** l'effet combinée de la salinité du plomb sur la chlorophylle (a+b).

#### Discussion :

Les résultats de l'analyse de la variance de la teneur en **Chlorophylle (a), (b)** montrent que le facteur salinité provoque un effet non significatif ( $p \geq 0.05$ ) sur le contenu en chlorophylle. Par contre l'effet de stress salin, est significatif sur le contenu de la chlorophylle totale. L'effet du stress métalliques, révèle des résultats hautement significatifs sur la teneur en **chlorophylle (a)** et **totale (a+b)**, Néanmoins l'effet de plomb

est significatif ( $p \leq 0.01$ ) sur la teneur en **chlorophylle(b)**. L'interaction de deux facteurs (NaCl, Pb) ( $p \leq 0.01$ ) révèle un effet hautement significatif sur les chlorophylles a, b et a+b.

Le taux de la chlorophylle est diminué avec l'augmentation de la dose de la salinité dans le cas où les plantes non stressées au plomb. Le taux de la chlorophylle chez les plantes stressées au plomb dans le milieu 3% de NaCl est plus considérable par rapport aux autres dans le milieu 0,5% de NaCl.

Le taux de la chlorophylle diminué sous l'action de stress salin et métallique chez les plantes en comparaison avec plantes témoins.

Selon nos résultats la salinité provoque une diminution de la teneur en chlorophylle et, cela est confirmé par des études précédente de **Mwai et al, 2004** ; **Mehani M, 2009** que sont signalés que la salinité diminue considérablement la teneur en chlorophylle.

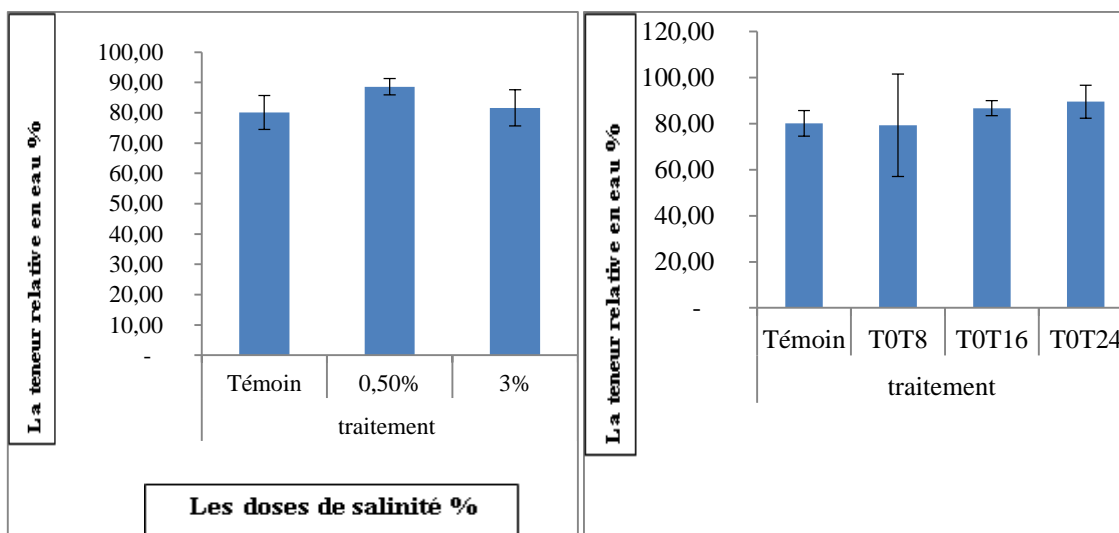
De même, des résultats similaires ont été rapporté d'une part par (**acila, 2003**) qui montre que la concentration saline, provoque un effet néfaste sur la production des feuilles, et diminue nettement la teneur en chlorophylles totale de deux variété de blé dur (*Triticum Durum*, Desf) et d'autres part par **Muller et al (1978)** sur le tournesol et par **hamad (1996)** sur le blé tendre.

Le test de comparaison des moyennes de NEWMAN-KEULS-SEUIL = 5% permet de classer deux groupes homogènes : groupe(A) où les moyennes du taux de la **chlorophylle a /b/ a+b** sont importantes : c'est le cas de (la dose 0 ppm) /groupe (B) : où les moyennes sont moins les cas des autres doses de plomb pour la chlorophylle totale en ce qui concerne la **chlorophylle(b)** on a groupe (A) où les moyennes sont élevées le cas de dose(0 ppm de plomb) groupe(AB)( le cas des doses 800/2400 ppm) et le dernier groupe B où les moyennes les plus faible l'état (de la dose 1600 ppm de plomb).

**V. 2 L'effet combiné de stress métallique et stress salin sur la teneur relative en eau :** Les figures 9, 10 et 11 représentent la teneur en relative en eau l'espèce étudiée d'*Atriplex halimus L.* en fonction de l'intensité du stress métallique (0 ; 800 ; 1600 et 2400 ppm) et stress salin (0 ; 0,5 et 3%).

**Tableau (5) : La teneur moyenne en contenu relative en eau chez *Atriplex halimus L.***

Dose de NaCl (%)	Dose de plomb(ppm)	La teneur relative en eau(%)
0	0	78,393
	800	60,016
	1600	77,789
	2400	79,817
0.5	0	75,626
	800	80,614
	1600	69,08
	2400	73,145
3	0	68,686
	800	65,614
	1600	65,218
	2400	65,034



**Figure(9) :** L'effet de la salinité et du plomb sur la teneur relative en eau.

**-A 0.5% et 3% de NaCl :**

Selon la figure (9) on note une augmentation de la teneur relative en eau chez les plantes stressées au la dose 0.5%

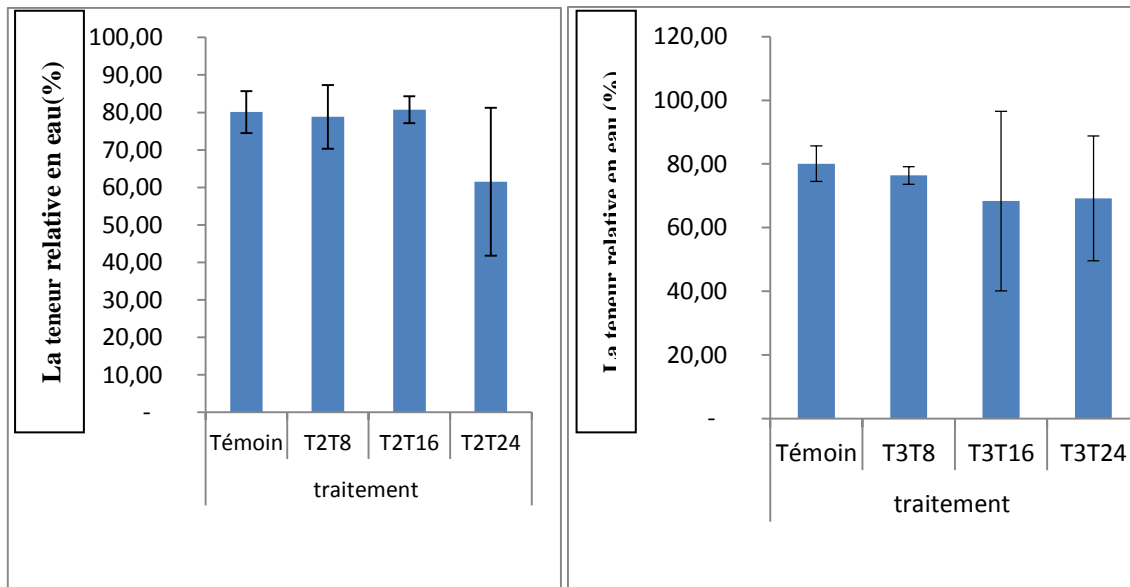
Le test t de comparaison des moyennes de la teneur relative en eau ne déclenche aucun effet significatif.

L'effet de NaCl sur l'émergence de l'appareil végétatif des espèces d'*Atriplex halimus* est évalué par la mesure de caractères morphologiques de plantule : poids sec et poids frais de la plante.

**-A 0% de NaCl :**

Selon la figure (9) on note que l'application du stress métallique causée une augmentation proportionnelle de la teneur relative en eau avec l'augmentation de la dose de plomb appliquées.

Le test t de comparaison des moyennes témoins de la teneur relative en eau avec les moyennes de la teneur relative en eau aux doses 800, 1600, 2400 ppm ne révèle aucun effet significatif.



**Figure(10) :** L'effet combiné de la salinité et du plomb sur la teneur relative en eau.

**-A 0,5% :**

A partir de la figure (10) Le contenu de RWC est plus élevé dans les plantes stressées au plomb dans la dose de 1600 ppm avec une valeur de (80,76 $\mu$ g/g) par rapport aux autres plantes.

On a enregistré une diminution à la dose 2400 ppm par rapport aux plantes témoins.

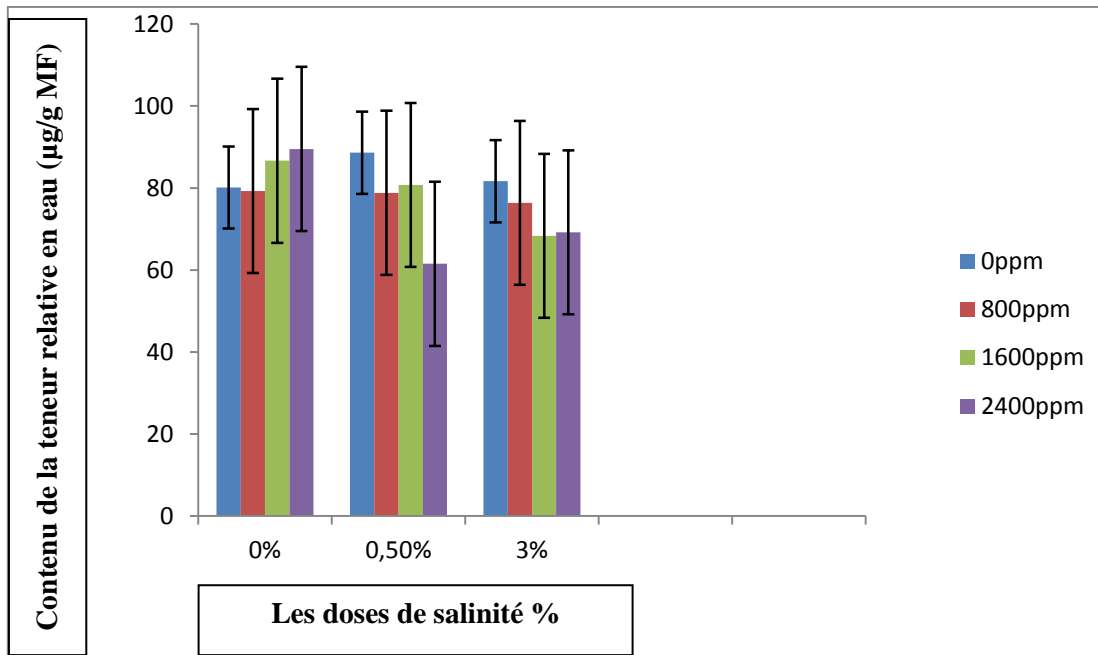
Le test de comparaison des moyennes du témoin de la teneur relative en eau avec les moyennes de la teneur relative en eau aux doses 800,1600, 2400 ppm ne signale aucun effet significatif.

**A 3% :**

Selon la figure (10) On remarque une légère diminution des valeurs de la teneur relative en eau (RWC) par rapport au témoin.

Le test de comparaison des moyennes de la teneur relative en eau déclenche aucun effet significatif.

L'analyse statistique de student à  $P=5$  montre que l'effet du stress salin, métallique l'effet de l'interaction entre le plomb et le NaCl ne résulte aucun effet significatif sur la teneur relative en eau.



**Figure(12)** : l'effet combiné de la salinité et du plomb sur la teneur relative en eau.

#### Discussion :

L'analyse statistique de la variance révèle des résultats significatifs ( $p \geq 0.01$ ) de l'effet du stress salin et l'interaction entre les deux stress (Na Cl+plomb) sur la teneur relative en eau (RWC) chez les plantes. Par contre le facteur plomb ne déclenche aucun effet significatif ( $p \leq 0.05$ ) sur la teneur relative en eau.

Le contenu relatif en eau chez les plantes cultivées dans le milieu 0.5% de NaCl et stressées au plomb est plus élevé par rapport aux autres plantes dans le milieu 3% de NaCl. Par contre les plantes cultivées à 3% de NaCl et non stressées au plomb enregistrent la teneur relative en eau la plus faible comparativement aux autres plantes.

De même, **Lutts et al, 2004** indiquent que la teneur en eau chez *Atriplex* n'est pas affectée par la présence des métaux lourds.

Ces résultats sont conformes à ceux indiqués par **Martinez et al (2011)**, ils signalent une légère diminution de la teneur relative en eau sous l'effet de cuivre chez *Bituminaria bituminosa*, et une réduction plus marquée sous l'effet de zinc.

La diminution de la teneur relative en eau sous le stress imposé par le cuivre, est attribuée à l'augmentation de la transpiration de la plante (**Demirevska et al, 2004**). Les

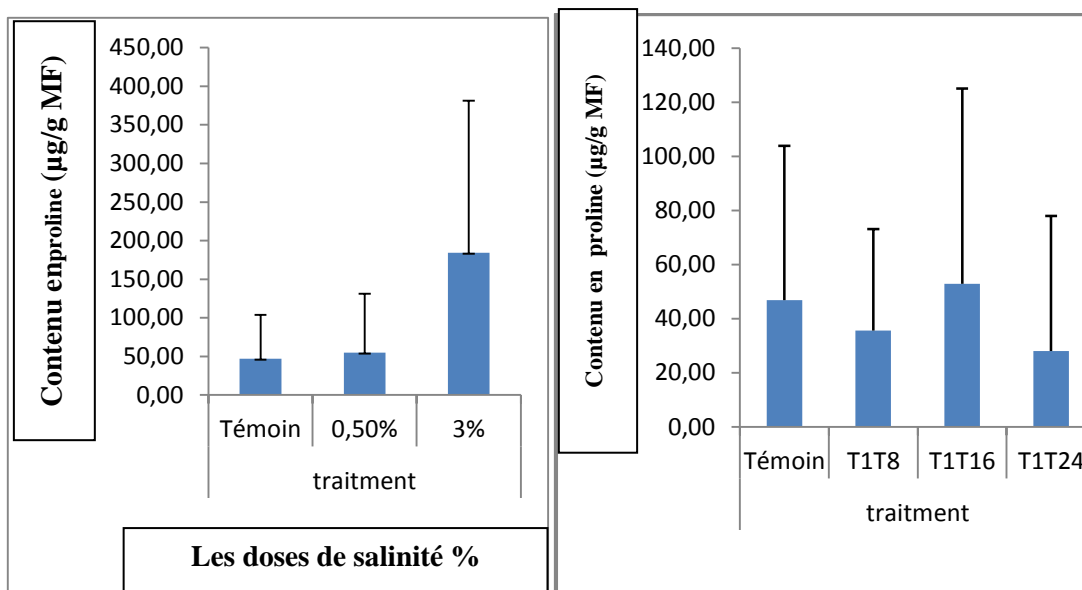
feuilles sont petites, crispées et ont une teinte vert foncé (Bessoule et al, 2002) et elles ferment leurs stomates pour limiter les pertes en eau (Chatterjee, 2000).

Le test de comparaison des moyennes de NEWMAN-KEULS-seuil=5% permet de distinguer deux groupes homogènes : où les moyennes du taux de la teneur relative en eau sont importantes : c'est le cas de groupe (A) : où les moyennes sont élevées (les doses 0% et 0,5%) de NaCl et le dernier groupe (B) les moyennes sont faible à la dose 3% de NaCl.

**IV.3 L'effet combiné de stress métallique et stress salin sur la proline :** Les figures 9, 10 et 11 représentent la teneur en relative en eau l'espèce étudiée d'*Atriplex halimus L.* en fonction de l'intensité du stress métallique (0 ; 800 ; 1600 et 2400 ppm) et stress salin (0 ; 0,5 et 3%).

**Tableau(6) :** La teneur moyenne en **la proline** chez *Atriplex halimus L.* stressé au plomb et de NaCl.

Dose de NaCl (%)	Dose de plomb(ppm)	la proline ( $\mu\text{g/g MF}$ )
0	0	46,858
	800	35,635
	1600	52,925
	2400	27,997
0.5	0	54,693
	800	111,695
	1600	36,985
	2400	30,06
3	0	184,072
	800	131,834
	1600	124,196
	2400	113,66



**Figure(12) :** L'effet de la salinité et de plomb sur la proline.

#### -A 0% de NaCl :

A partir de la figure (12) on remarque que le contenu de proline chez les plantes augmente au fur à mesure que la dose appliquée de NaCl augmente. On note également que le taux de la proline atteint sa valeur optimale (184.07 µg/g Mf) chez les plantes stressées à la dose 3% de NaCl et non stressées au plomb.

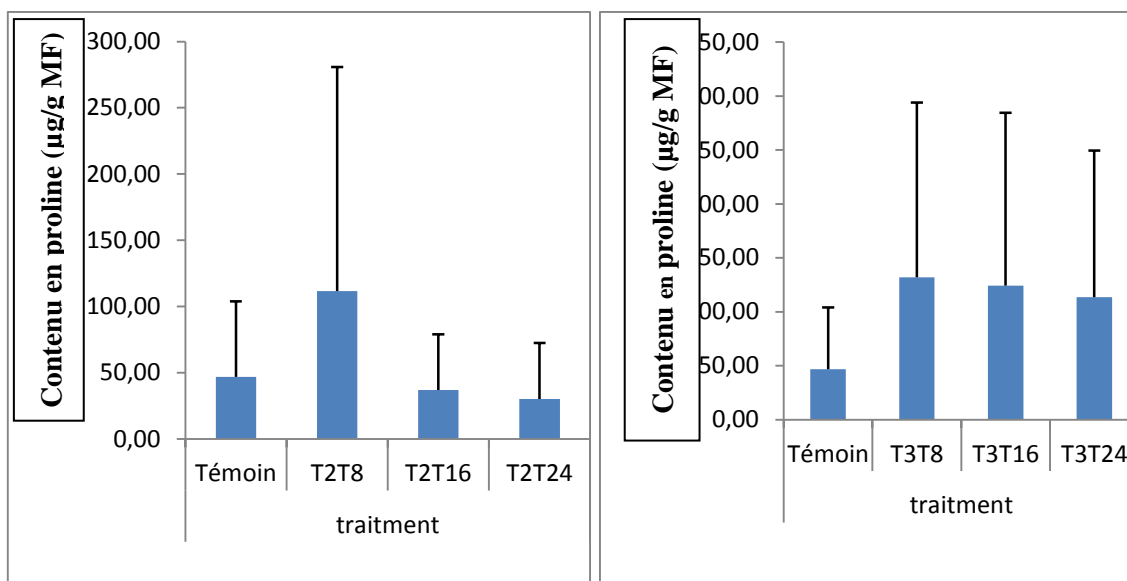
Le test t de comparaison des moyennes témoins de la proline avec les moyennes du contenu de proline à la dose 3 % de NaCl résulte un effet hautement significatif et par contre à la dose 0,5% ne révèle aucun effet significatif.

#### -A0.5% et 3% de NaCl :

A partir de la figure (12) on note que le contenu de proline très élevées à la dose 1600 ppm du plomb appliqué par rapport au témoin.

Comparativement aux autres plantes, on note que les plantes stressées à la dose 2400 ppm de plomb représentent les teneurs les plus faibles de contenu en proline.

Le test t de comparaison des moyennes témoins de contenu en proline avec les moyennes de contenu en proline aux doses 800,1600, 2400 ppm ne révèle aucun effet significatif.



**Figure(13) :** L'effet combiné de la salinité et du plomb sur la proline.

#### **-A 0,5 % de NaCl:**

Selon la figure (13), on enregistre que le contenu de proline est très élevé à la dose 800 ppm du plomb par rapport au témoin.

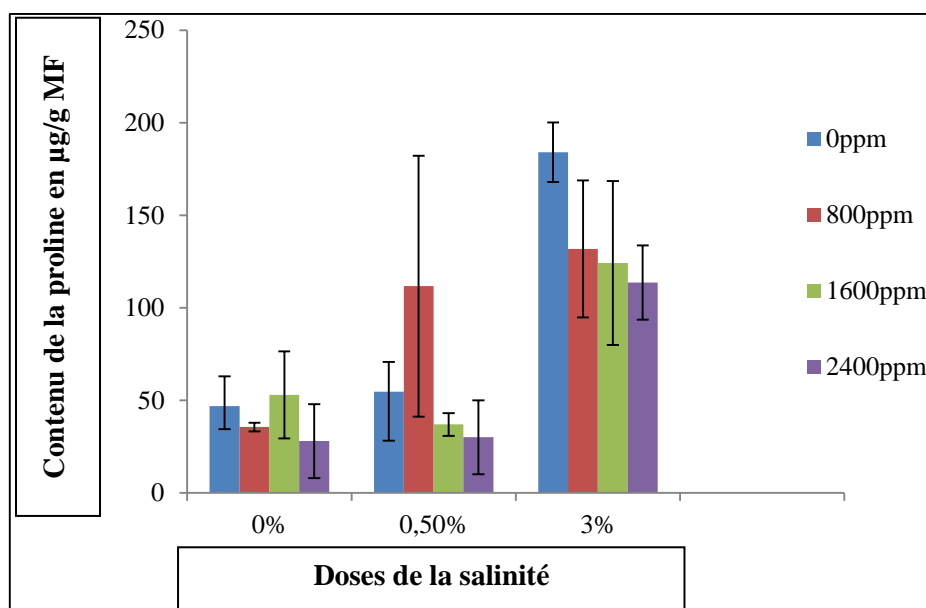
Le test t de comparaison des moyennes témoins de la proline avec les moyennes de la proline chez les plantes stressées ne déclenche aucun effet significatif.

#### **-A 3 % de NaCl :**

Dès l'analyse de la figure (13) on observe une diminution inversement proportionnelle du contenu de proline chez les plantes stressées avec l'accroissement de la dose appliquée du plomb. Il est noté également que les plantes dans le milieu 3% de NaCl sont celles qui enregistrent les contenus importants en proline par rapport aux autres plantes.

Le test de comparaison des moyennes témoins de contenu de la proline avec le contenu en proline chez les plantes stressées à la dose 2400 ppm révèle un effet hautement significatif, en revanche la comparaison des moyennes témoins de contenu de la proline avec les plantes stressées aux doses 800, 1600 ppm montre un effet significatif.

L'analyse statistique de Student à  $P=5$  montre un effet hautement significatif du NaCl sur l'accumulation de la proline chez les plantes, tandis que l'effet du stress métallique est significatif.



**Figure(14) :** L'effet combiné de la salinité et du plomb sur la proline.

#### Discussion :

Les résultats de l'analyse de la variance du contenu de la proline montrent que le facteur salinité provoque un effet hautement significatif ( $p \leq 0.01$ ) sur le contenu de la proline. Néanmoins le facteur plomb a un effet significatif. Par contre l'effet de l'interaction du plomb et de NaCl est non significatif sur le contenu de la proline.

L'accroissement de la dose de la salinité provoque une augmentation de l'accumulation de la proline chez les plantes. Par contre l'accroissement de la dose de plomb induit une diminution de la proline dans les milieux 0,5% et 3% de NaCl.

La proline est un acide aminé souvent considéré comme un biomarqueur de stress (Szabados et al, 2009 ; Djerroudi-Zidane et al., 2010 ; Boublenza., 2012).

Le test de comparaison des moyennes de NEWMAN-KEULS-SEUIL=5% permet de classer deux groupes homogènes : groupe (A) où les moyennes du taux de la proline sont importantes : c'est le cas de (la dose 3% NaCl) et groupe (B) où les moyennes sont moins les cas des autres doses de la salinité.

La proline est souvent citée comme l'osmoticum le plus largement distribué et accumulé sous des conditions environnementales variées (Lepoivre., 2003 ; Parre et al., 2007). En effet, la proline est un acide aminé souvent considéré comme un biomarqueur de stress (Szabados et al., 2009 ; Djerroudi-Zidane et al., 2010 ; Boublenza., 2012).

Selon **Mile et al. (2002)**, l'accumulation de proline est une des stratégies adaptatives déclenchées par la plante face aux contraintes de l'environnement. Selon un autre point de vue, l'accumulation de la proline n'est pas une réaction d'adaptation au stress, mais plutôt le signe d'une perturbation métabolique (**Cheikh et al, 2008**).

Ce phénomène d'accumulation a été démontré chez de nombreuses espèces et dans différentes situations de stress (salins, osmotiques, hydriques, thermiques, métallique...) (**Panda., 2003 ; Leprince et al., 2004**). Selon **Silveira et al.(2002)**, le métabolisme des acides aminés sous conditions de stress est largement altéré et la synthèse des protéines augmente comme une conséquence de ces conditions métaboliques. **Flagella et al. (2006)** suggèrent que l'accumulation de la proline est le résultat de l'inhibition de son oxydation, l'augmentation du catabolisme des protéines et/ou une synthèse de nouveau de cet acide aminé (**Ben khaled et al., 2003 ; Djeddi., 2006**).

En plus, la biosynthèse de cet acide aminé peut être associée à la régulation du pH cytosolique (**Denden et al., 2005**) ou la production de NADPH pour la stimulation de la voie des pentoses-phosphates (**Lutts et al., 1996**).

Pour les plantes stressées, au contraire, la proline s'accumule rapidement dans les feuilles sous le traitement au nitrate de plomb à 1000 ppm ce qui représente environ le double de la teneur enregistrée pour les feuilles témoins (13.7 contre 7.1  $\mu$  g.100 mg<sup>-1</sup> PS); dès que la concentration en plomb quintuple, l'acide aminé chute légèrement jusqu'à 11  $\mu$  g.100 mg<sup>-1</sup> PS. La solution enrichie à 10000 ppm de plomb déclenche de nouveau la synthèse de la proline pour atteindre dans les mêmes organes une teneur de 15  $\mu$  g.100 mg<sup>-1</sup> PS. La teneur en proline augmente chez l'espèce sous toutes les concentrations en nitrate de plomb,

Nos résultats sont en accord avec de nombreux travaux, par exemple chez *Vigna unguiculata* (**Bhattacharjee et Mukherjee., 1994**), la tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) (**De et Mukherjee., 1998**), l'haricot (*Phaseolus vulgaris* L.) (**Zengin et Munzuroglu., 2005**), et chez les feuilles de tournesol (*Helianthus annuus* L.) (**Zengin et Kirbag., 2007 ; Azad et al., 2011**). Ces résultats sont signalés aussi chez (*Vigna mungo* L.) (**Handique et al., 2009**). Selon **Azzouz (2011)**, les analyses réalisées sur la fève (*Vicia faba* L.) enregistrent des teneurs élevées en proline dans les différents organes traités par le plomb. Des résultats similaires sont signalés chez les racines du tournesol en présence de ce métal (**Azad et al., 2011**), et chez

**Hydrillaverticillata**(l.f.) Royle sous l'action combiné du plomb et de cadmium (**Singh et al., 2012**). **Biteur (2012)** rapporte que l'apport d'acétate de plomb induit une augmentation importante en prolinechez le radis (**Raphanussativus**).

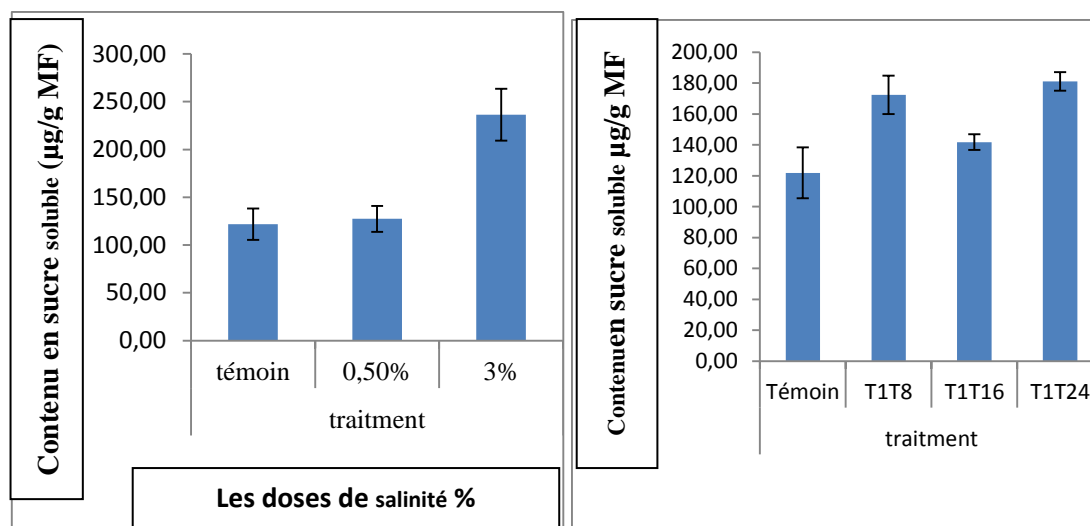
L'accumulation de cet acide aminé est signalée chez artichoke (**CynarascolymusL.**) (**Karimi et al., 2012**), les feuilles de blé (**Janmohammadi et al.,2013**) et chez la partie aériennes de la betterave à sucre (**Naderi et al., 2013**). D'autres travaux ont abouti aux conclusions similaires sous le stress de différentes métaux tels que le Zn, Co, Cu (**Sharmila et al ., 2002 ; Sharma et al., 2006**).

#### **IV.4L'effet combiné de stress métallique et stress salin sur la sucre soluble :**

Les figures 9, 10 et 11 représentent la teneur en relative en eau l'espèce étudiée d'*Atriplex halimus L.* en fonction de l'intensité du stress métallique (0 ; 800 ; 1600 et 2400 ppm) et stress salin (0 ; 0,5 et 3%).

**Tableau(7) : Teneurs moyennes en sucres solubles chez *Atriplex halimus L.* Stressés au plomb et de NaCl .**

Dose de NaCl (%)	Dose de plomb(ppm)	la proline (µg/g MF)
0	0	121,878
	800	172,422
	1600	141,81
	2400	181,129
0.5	0	127,388
	800	179,769
	1600	158,68
	2400	181,81
3	0	236,299
	800	199,02
	1600	226,776
	2400	219,837



**Figure(15) :** L'effet de salinité et du plomb sur lessucres solubles.

#### -A 0.5% et 3% de NaCl :

A partir la figure (15) on note que l'application du stress salin causé une augmentation plus élevée de la teneur du sucre soluble avec l'augmentation de la dose de salinité appliquées.

Le test t de comparaison des moyennes témoins de la teneur de sucre soluble avec les moyennes de la teneur du sucre soluble à la dose 3% révèle un effet hautement significatif. Néanmoins à la dose 1600 ppm ne montrent aucun effet significatif sur la teneur du sucre soluble.

L'Analyse statistiques de student à  $P=5$  ne montre un effet hautement significatif du NaCl, et l'effet significatif de l'interaction entre les deux stress (plomb et le NaCl) sur la teneur du sucre soluble. Par contre ne déclenche aucun l'effet significatif sur la teneur du sucre soluble.

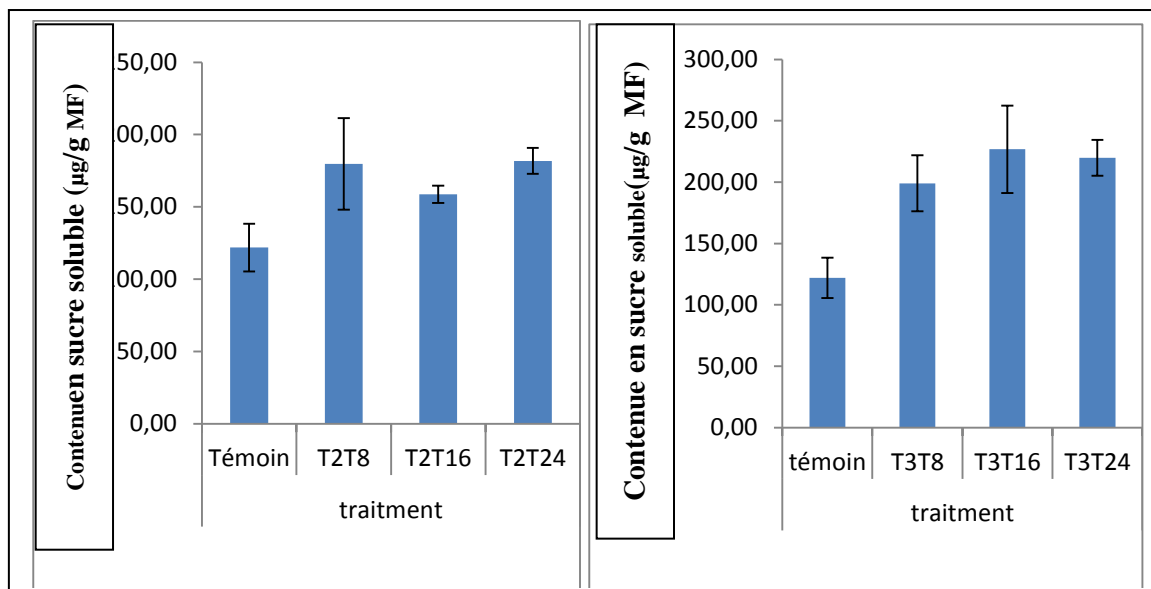
#### -A 0% de NaCl :

Selon la figure (15) on note que l'application du stress métallique causé une augmentation de la teneur en sucre soluble par rapport au témoin.

En enrégistre une valeur optimal du taux d'accumulation des sucres solubles chez les plantes stressées aux dose 2400 ppm (181,13µg/g MF).

Le test t de comparaison des moyennes témoins de la teneur des sucres solubles avec les moyennes de la teneur des sucres solubles à la dose 2400ppm de plomb révèle un effet hautement significatif, et un effet significatif à la dose 800ppm de plomb sur la

teneur en sucres solubles. Néanmoins à la dose 1600 ppm de plomb ne montrent aucun effet significatif.



**Figure(16) :** L'effet combiné de la salinité et du plomb sur les sucres solubles.

#### **-A 0.5% NaCl**

Comme précédent, dès à la figure (16) on remarque que l'application de stress se traduit par une augmentation de la teneur des sucres solubles chez les plantes stressées comparativement aux plantes témoins.

Le test t de comparaison des moyennes témoins de la teneur des sucres solubles avec les moyennes de la teneur des sucres solubles chez les plantes stressées à la dose 0,5% de NaCl et aux doses du plomb (1600 ppm, 2400 ppm) révèle un effet significatif. Néanmoins à la dose 800 ppm ne montre aucun effet significatif sur la teneur en sucres solubles.

#### **-A 3% DE NaCl :**

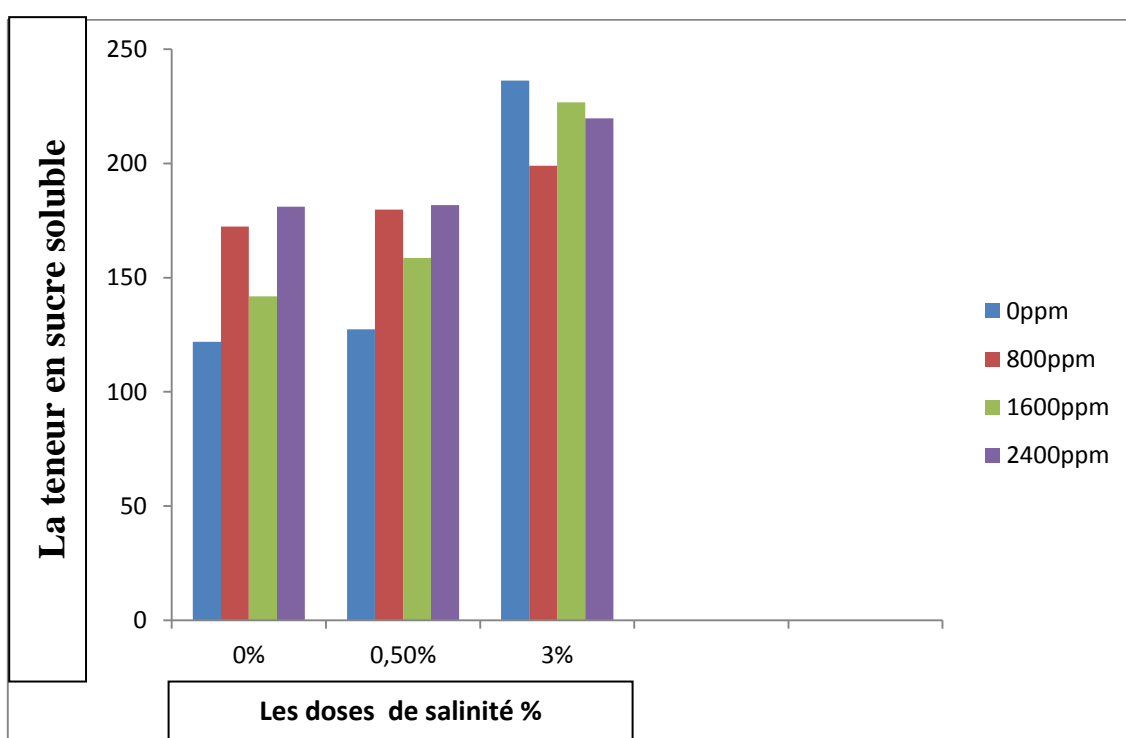
L'analyse de la figure (16) au note que sous l'action de stress le taux d'accumulation de sucre soluble est augmenté,

Le taux de sucre soluble atteint sa valeur optimale chez les plantes cultivées dans le milieu 3% de NaCl est non stressé au plomb.

Le taux d'accumulation des sucres solubles chez les plantes dans le milieu 3% de salinité est considérable par rapport aux autres plantes.

Le taux d'accumulation des sucres solubles chez les plantes augmente proportionnellement à l'accroissement de la dose appliquée de la salinité. Montre que la teneur du sucre soluble chez les plantes stressées diminue légèrement par rapport à la teneur du sucre soluble chez les plantes témoins.

Le test t de comparaison des moyennes de la teneur du sucre soluble résulte en un effet significatif chez les plantes stressées par rapport au témoin.



**Figure(17) :** L'effet combiné de la salinité et du plomb sur des sucres solubles.

### Discussion :

L'analyse statistique de la variance révèle des résultats hautement significatifs ( $p \leq 0.01$ ) de l'effet du stress salin sur l'accumulation des sucres solubles, et un effet significatif de l'interaction entre les deux stress (NaCl+plomb) chez les plantes. Néanmoins le facteur plomb ne déclenche aucun effet significatif ( $p \leq 0.05$ ) sur les sucres solubles.

Le taux de sucre soluble atteint sa valeur optimale chez les plantes cultivées dans le milieu 3% de NaCl est non stressé au plomb.

Le taux d'accumulation des sucres solubles chez les plantes dans le milieu 3% de salinité est considérable par rapport aux autres plantes.

Le taux d'accumulation des sucres solubles chez les plantes augmente proportionnellement à l'accroissement de la dose appliquée de la salinité.

Les sucres solubles, jouent un rôle central dans la structure, le métabolisme et le fonctionnement des plantes. Ils sont plus impliqués dans de nombreux mécanismes de réponse aux stress, biotiques ou abiotiques (**Ramel, 2009**).

Les sucres solubles peuvent jouer un rôle dans la protection des chlorophylles et des caroténoïdes contre l'agressivité du stress métallique (**Azouz et al., 2011**). **Verma et al (2001)** remettent cette accumulation à une adaptation très possible de la plante pour ajuster et maintenir un potentiel osmotique favorable.

Le test de comparaison des moyennes de NEWMAN-KEULS-SEUIL=5% permet de ressortir deux groupes homogènes : groupe (A) où les moyennes du taux des sucres solubles sont importantes dans la dose 3% de NaCl et groupe (B) où les moyennes sont témoins dans les doses (0% ,0.5%) de NaCl.

## Conclusion

---

### Conclusion :

A travers le présent travail, nous avons étudié l'effet des différents niveaux de la salinité sur quelques paramètres physiologiques chez l'*Atriplexhalimus L.* soumises à différentes concentration de plomb.

Le présent travail, a permis d'étudier les variations des teneurs en chlorophylles, en sucres solubles, le contenu relatif en eau et la proline.

Nous avons dans un premiers temps constaté que plus le stress salin s'intensifie et plus la teneur relative en eau (RWC) chute. Exprimée par une diminution de RWC et une augmentation de concentrations salines.

Nous assistant à une stimulation de la teneur en relative en eau chez les témoins (solution nutritive). Mais à partir de la concentration à 0,5 % de NaCl, nous avons remarqué une diminution progressive de la teneur relative en eau chez *Atriplexhalimus*.

Selon nos résultats, le taux de la chlorophylle diminué sous l'action de stress salin et métallique chez les plantes en comparaison avec plantes témoins. La salinité entraîne une diminution de la teneur en chlorophylle (a+b), suivie par la chlorophylle (a) puis la chlorophylle(b) quel que soit le type de stress ces résultats sont en accord avec ceux rapportés par **YOUNIS et al(2003)** sur *vignasinensis* et **Zeamays**. Il a été rapporté que la salinité diminue la teneur en pigments photosynthétiques de plusieurs plantes (**DE HERALDE et al, 1998 : SULTANA et al., 1999**).

L'accroissement de la dose du plomb induit une diminution de la proline dans les milieux 0,5% et 3% de NaCl, par contre L'accroissement de la dose de la salinité provoque une augmentation de l'accumulation de la proline chez les plantes.

Les teneurs en sucres solubles enregistrent aussi une importante accumulation chez les organes de l'espèce en présence de nitrate de plomb. Le taux d'accumulation des sucres solubles chez les plantes dans le milieu 3% de salinité est considérable par rapport aux autres plantes. Le taux d'accumulation des sucres solubles chez les plantes augmente proportionnellement à l'accroissement de la dose appliquée de la salinité.

L'une des principales constatations émanant de l'application du stress salin et métallique concerne, les variations et la perturbation des activités métaboliques de la plantes. Les résultats trouvés suggèrent que l'*Atriplexhalimus L.* peuvent

## Conclusion

---

être utilisées dans un système de dépollution des sols car elles possèdent des propriétés particulières de résistance naturelle à de nombreuses contraintes abiotiques. Un tel travail ouvre de multiples perspectives qui consistent à développer notre recherche par l'étude des autres conditions liées aux conditions édaphiques du milieu, et la translocation du plomb et des sels minéraux dans les différentes parties de la plante. Enfin, le passage à une culture sur sol pollué dans les conditions naturelles permettrait d'étudier les capacités d'*Atriplex* à extraire le plomb présent dans le sol.

## Référence bibliographie

**Alloway, B.J.**, 1995. Heavy metals in soils. Blackie Academic & Professional, London, 2nd Edition.

**Arias JA, Peralta-Videa JR, Ellzey JT, Ren M, Viveros MN, Gardea-Torresdey JL (2010)** Effects of *Glomus deserticola* inoculation on Prosopis: Enhancing chromium and Pb uptake and translocation as confirmed by X-ray mapping, ICP-OES and TEM techniques. Environ Exp Bot 68(2):139-148.

**Baize D.**, 1997. Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols (France). Références et stratégies d'interprétation. INRA Éditions, Paris. 410 pp.

**Benedetto M ; 1997(méthodes spectrométrique d'analyses et de caractérisation.** Exp. Bot.18(2-3):5-8.

**Bennett MD. 1976.** DNA amount, latitude, and crop plant distribution. Environ. Exp. Bot.16(2-3):93-98, IN1-IN2, 99-108.

**Beraud E**, 2007. Etude des effets genotoxiques et de l'induction des phytochélatines chez *Vicia faba* (Fabaceae) exposée au cadmium. Application du test Vicia-micronoyaux à des matrices complexes. Metz: Université de Metz. 107 p.

**Bouziani EL, 2012. Contribution à l'étude de l'effet des métaux lourds (Plomb) sur les caractéristiques biométriques et chimiques de la fève (*Vicia faba* L.)**

**BRGM 2003 ;** Guide méthodologique du plomb appliqué à la gestion des sites et des sols pollués). BRGM MEDD/DPPR-BRGM CV 0300001.

**BRGM**, 2004. Guide méthodologique du plomb appliqué à la gestion des sites et des sols pollués). BRGM MEDD/DPPR-BRGM CV 0300001.

**Briat JF., Lebrun M.**, 1999. Plant responses to metal toxicity. Plant Biology and Pathology, cadmium and lead. Plant Physiol. 54, 122-124.

**Cotelle S**, 1999. Etude de la genotoxicité de matrices complexes à l'aide de plantes supérieures. Metz: Université de Metz. 179 p.

**Degrassi F; Rizzoni M**, 1982. Micronucleus test in *Vicia faba* root tips to detect mutagen damage in fresh-water pollution. Mutat. Res.-Environ. Mutag. Related Subj. 97(1):19-33.

**Duc G**, 1997. Faba bean (*Vicia faba* L.). Field Crops Res. 53:99-109.

**Evans LT**, 1959. Environmental Control of Flowering in *Vicia faba* L. Ann. Bot.

23(4):521-546.

**Evans HJ, Scott D. 1963.** Influence of DNA synthesis on the production of chromatid aberrations by X rays and maleic hydrazide in *Vicia faba*. *Genetics* 49:17-38.

**Ferrara G ; Loffredo E ; Senesi N, 2004.** Anticlastogenic, antitoxic and sorption effects of humic substances on the mutagen maleic hydrazide tested in leguminous plants. *Eur. J. Soil Sci.* 55(3):449-458.

**Gallais A, Bannerot H. 1992.** Amélioration des espèces végétales cultivées: objectifs et critères de sélection. Paris: INRA.

**Gavalda, D., 2001.** Devenir des éléments traces métalliques dans les brousses (livi-redoxisol) après épandage de boues granulées. Thèse de doctorat, INP-ENSAT, 258p.

**Gobat J. M., Aragno M. et Matthey W., 1998.** Le sol vivant. Bases de pédologie, biologie des sols, Presses polytechniques et universitaires romandes, vol 14, coll. gérer l'environnement, 592pp.

**Grant WF; Owens ET, 2001.** Chromosome aberration assays in *Pisum* for the study of environmental mutagens. *Mutat. Res. - Rev. Mut. Res.* 488(2):93-118.

**Huang G; Bazzaz FA; Vanderhoef LN, 1974.** The inhibition soybean metabolism by cadmium and lead. *Plant Physiol.* 54, 122-124.

**Jaap Stéketee, 2010,** Fondation Développement et transfert de connaissances sur le sol. P 6.

**Juste C., 1988.** Appréciation de la mobilité et de la biodisponibilité des éléments en traces du sol. *Sci. Sol* 26 (2) 103-112.

**Liator I., 1988.** Review of soil solution samplers. *Water Resources Research* 24: 727-733.

**Lin AJ; Zhang XH; Chen MM; Cao Q, 2007.** Oxidative stress and DNA damages induced by cadmium accumulation. *J. Environ. Sci. (China)* 19(5):596-602.

**MacLaughlin MJ, 2000.** Soil testing for heavy metals. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 31:1661-1700.

**Miquel MG, 2001.** Les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé, rapport de l'office parlementaire des choix scientifiques (Sénat).

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

**Patra M, Bhowmik N, Bandopadhyay B, Sharma A., 2004.** Comparison of mercury, lead and arsenic with respect to genotoxic effects on plant systems and the development of genetic tolerance. *Environ Exp Bot* 2004; 52: 199-223.

**Pourrut B, 2008.** Implication du stress oxydatif dans la toxicité du plomb sur une plante modèle, *Vicia faba*. Thèse de doctorat de l'université de Toulouse.

**Radetski CM; Ferrari B; Cotelle S; Masfaraud JF; Ferard JF, 2004.** Evaluation of the genotoxic, mutagenic and oxidant stress potentials of municipal solid waste incinerator bottom ash leachates. *Sci. Total Environ.* 333(1-3):209-216.

**Rahoui S, Chaoui A, Ferjani E. 2008.** Differential sensitivity to cadmium in germinating seeds of three cultivars of faba bean (*Vicia faba* L.). *Acta Physiol. Plant.* 30(4):451-456.

**Rausser WE., 1995;** Phytochelatins and related peptides. *Plant Physiology* 109: 1141-1149.

**Sang N; Li G, 2004.** Genotoxicity of municipal landfill leachate on root tips of *Vicia faba* *Mutat. Res.-Genet. Toxicol. Environ. Mutag.* 560(2):159-165.

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

**Seregin IV., Shpigun LK., Ivanov VB., 2004.** Distribution and toxic effects of Cadmium and Lead on maize roots. *Russian Journal of Plant Physiology* 51 (4): 525-533.

**Shahid M, 2010.** Induction de la phytotoxicité du Plomb chez *Vicia faba* L. : rôles de l'absorption et de la spéciation. Thèse de doctorat de l'université de Toulouse.

**Sharma P., Dubey RS., 2005.** Lead toxicity in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 17 (1): 35-52.

**Sies H., 1991.** Oxidative stress: introduction. In: Sies H. (ed), *Oxidative stress, Oxidants and Antioxidants*. Academic Press, San Diego, I-XV, 650 p.

**Stevenson AJ., 1989.** *Humus Chemistry*. John Wiley & Son, New York.

**Thome OW, 1885.** *Flora von Deutschland, Österreich und der Schweiz* Gera, Germany.

**Wierzbicka M, 1999a.** Comparison of lead tolerance in *Allium cepa* with other plant species. *Environmental Pollution* 104(1): 41-52.

**Yan ZZ; Ke L; Tam NFY, 2010.** Pb stress in seedlings of *Avicennia marina*, a common mangrove species in South China, with and without cotyledons. *Aquat Bot* 92(2):112- 118.

## Annexe :

### Analyse de la variance :

#### Analyse de la variance à deux facteurs contrôlés (Stat Box6.40) :

**Tableau 01** : Analyse de la variance de l'effet combiné de la salinité et du plomb sur la teneur en **chlorophylle a** d'*Atriplex halimus* L.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	0.311	35	0.009				
VAR.FACTEUR 1	0.024	2	0.012	3.177	0.05852		
VAR.FACTEUR 2	0.067	3	0.022	5.981	0.00349		
VAR.INTER F1*2	0.13	6	0.022	5.768	0.00082		
VAR.RESIDUELLE 1	0.09	24	0.004			0.061	14.40%

**Tableau 02** : Analyse de la variance de l'effet combiné de la salinité et du plomb sur la teneur en **chlorophylle b** d'*Atriplex halimus* L.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	0.099	35	0.003				
VAR.FACTEUR 1	0.008	2	0.004	2.644	0.09002		
VAR.FACTEUR 2	0.016	3	0.005	3.641	0.02675		
VAR.INTER F1*2	0.04	6	0.007	4.458	0.00369		
VAR.RESIDUELLE 1	0.036	24	0.001			0.039	17.97%

**Tableau 03** : Analyse de la variance de l'effet combiné de la salinité et du plomb sur la teneur en **chlorophylle total** d'*Atriplex halimus* L.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	0.63	35	0.018				
VAR.FACTEUR 1	0.055	2	0.027	4.151	0.02781		
VAR.FACTEUR 2	0.145	3	0.048	7.328	0.00125		
VAR.INTER F1*2	0.272	6	0.045	6.865	0.00026		
VAR.RESIDUELLE 1	0.158	24	0.007			0.081	12.69%

**Tableau 04 :** Analyse de la variance de l'effet combiné de la salinité et du plomb sur la teneur relative en eau d'*Atriplex halimus* L.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	2711.157	35	77.462				
VAR.FACTEUR 1	536.515	2	268.258	5.6	0.01006		
VAR.FACTEUR 2	153.254	3	51.085	1.066	0.38277		
VAR.INTER F1*2	871.76	6	145.293	3.033	0.02366		
VAR.RESIDUELLE 1	1149.628	24	47.901			6.921	9.67%

**Tableau 05 :** Analyse de la variance de l'effet combiné de la salinité et du plomb sur la teneur en proline d'*Atriplex halimus* L.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	110652	35	3161.486				
VAR.FACTEUR 1	64971.26	2	32485.63	33.345	0		
VAR.FACTEUR 2	8926.367	3	2975.456	3.054	0.04724		
VAR.INTER F1*2	13372.77	6	2228.794	2.288	0.06863		
VAR.RESIDUELLE 1	23381.63	24	974.235			31.213	39.40%

**Tableau 06 :** Analyse de la variance de l'effet combiné de la salinité et du plomb sur la teneur en sucre soluble d'*Atriplex halimus* L.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	59835.92	35	1709.598				
VAR.FACTEUR 1	31469.31	2	15734.66	27.774	0		
VAR.FACTEUR 2	5037.355	3	1679.119	2.964	0.05167		
VAR.INTER F1*2	9732.801	6	1622.133	2.863	0.03		
VAR.RESIDUELLE 1	13596.45	24	566.519			23.802	13.30%