

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
جامعة عبد الحميد بن باديس \_  
Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem

مستغانم

كلية علوم الطبيعة و الحياة

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

قسم البيولوجيا Département de Biologie

Mémoire présenté en vue de l'obtention du :

Diplôme de master

Option

«Phytotechnologie appliquée aux sols pollués»

Présenté par :



**KHOUSSA SABAH**

Intitulé :

**Dosage des antioxydants de *l'Atriplex canescens* (pursh)Nutt  
planté dans un milieu salin enrichie en cuivre .**

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

Soutenu le : 06/07/2017 - Devant le jury composé de :

<i>Nom et prénom</i>	<i>Grade</i>	<i>Qualité</i>	<i>Appartenance administrative</i>
<i>REGUIEG Yssaad Houcine A.</i>	<i>Pr</i>	<i>Président</i>	<i>U. Ibn Badis Mostaganem</i>
<i>Mme BELARBI Amaria</i>	<i>MCB</i>	<i>Examineur</i>	<i>U. Ibn Badis Mostaganem</i>
<i>MOGHTET Ahmed</i>	<i>Mr</i>	<i>Examineur</i>	<i>U. Ibn Badis Mostaganem</i>
<i>GHAMNIA Youcef</i>	<i>MAB</i>	<i>Encadreur</i>	<i>U. Ibn Badis Mostaganem</i>

Année universitaire : 2016-2017

## *Remerciement*

*Je tiens à remercier dieu le grand tout puissant qui m'a aidé à élaborer ce travail*

*Ce mémoire a été réalisé au laboratoire de Biodiversité et conservation des eaux et des sols au sein de l'université de Mostaganem (L'INES)*

*Ma reconnaissance va à mon encadreur Mr GHAMNIA YOUSSEF pour la confiance qu'elle m'a accordée durant l'élaboration de mon mémoire*

*Je remercie aussi le président et le professeur Mr REQUIEG YSSAAD HOUCINE ABDELHAKIM pour son soutien, sa confiance et ses critiques constructives, qu'il m'a accordé tout au long de mon thème*

*J'exprime ma reconnaissance à tous ceux qui ont consenti à lire et à examiner ce mémoire : Mme BELARABI AMARIA - Mr MOCHTET AHMED (Examineurs)*

*Enfin, je tiens également à remercier vivement tous ceux et celles qui ont participé à l'élaboration de ce travail*

## *Dédicace*

*Je dédie spécialement ce modeste travail aux êtres qui me sont les plus chers au monde mon père et ma mère pour leurs sacrifices leur soutien moral et leur amour durant toute ma vie*

*A mon mari HOUSSEYN et notre fils MOHAMED  
YOUSSEF*

*A mon cher frère BOUKHOUSSA*

*A mes chères sœurs : HOURIA HADJA AMINA KHAIRA  
NAWEL et leurs enfants*

*A tous mes amis en particulier SOUMIA FATHIA KHAIRA  
NORA*

*Pour tous mes proches et tous ce qui m'ont encouragé pour ce travail ma famille et mon mari*

## RESUME

Les plantes étudiées appartiennent au genre *Atriplex*, dont une espèce *A. canescens* perch nutt. Nous travaillons à travers de cette étude, sur le cuivre qui est un élément indispensable pour son rôle important dans la physiologie des êtres vivants d'une manière générale et les végétaux d'une manière particulière, car il est aussi un métal lourd et toxique quand il se trouve avec des concentrations élevées .

L'objectif de cette recherche est d'étudier l'effet du cuivre sur une plante résistante à la salinité (*Atriplex canescens*) avec des différentes doses (2000 ,2500 et 3000 ppm) séparé et combiné avec 0.5 et 3 % de NaCl. Après un mois de stress, nous avons analysé le taux des protéines et les antioxydants contenant les polyphénols , les flavonoïdes et les tanins . Les résultats montrent une corrélation négative entre l'augmentation de la concentration de cuivre (séparé et combiné avec le sel ) et diminution de protéines. L'estimation quantitative des flavonoïdes, polyphénols et les tanins totaux a montré que les extraits des plantes sont riches en ces composés par rapport les plantes non traitées (témoins) et les plantes sous traitement de 2000ppm et 2500ppm combiné avec NaCl 0.5 % .

**Mots clefs : *Atriplex canescens* , Cuivre, Stress Salin, Protéines , Polyhenols, flavonoïde, Tanins**

## **Abstract**

The plants studied belong to the genus *Atriplex*, including *A. canescens* perh. nutt. We work through this study on copper which is an indispensable element for its important role in the physiology of living beings in a general way and plants in a particular way, as it is also a heavy and toxic metal when it is found with high concentrations.

The objective of this research is to study the effect of copper on a salinity-resistant plant (*Atriplex canescens*) with different doses (2000, 2500 and 3000 ppm) separated and combined with 0.5 and 3% NaCl. After a month of stress, we analyzed the levels of proteins and antioxidants containing polyphenols, flavonoids and tannins. The results show a negative correlation between increased copper concentration (separated and combined with salt) and decreased protein. Quantitative estimation of flavonoids, polyphenols and total tannins showed that plant extracts are rich in these compounds compared to untreated plants (control) and plants under treatment of 2000ppm and 2000ppm combined with 0.5% NaCl.

**Keywords:** *Atriplex canescens*, Copper, Stress Saline, Protein, Polyphenols, flavonoid, Tannins

## المخلص

النباتات التي تمت دراستها تنتمي إلى جنس القطف *A. canescens*. تمثلت هذه الدراسة على النحاس الذي هو عنصر أساسي لدوره المهم في علم وظائف الأعضاء من الكائنات الحية بشكل عام والنباتات بطريقة معينة، كما أنه يعتبر من المعادن الثقيلة والسامة عندما يتواجد بتركيزات عالية.

والهدف من هذا البحث هو دراسة تأثير النحاس على النباتات المقاومة للملوحة مع جرعات مختلفة (2000، 2500 و 3000 جزء في المليون) منفصلة و مختلطة مع 0.5 و 3% كلوريد الصوديوم. بعد شهر من التوتر، قمنا بتحليل مستويات البروتين ومضادات الأكسدة التي تحتوي على مادة البوليفينول، الفلافونويد والعفص. وأظهرت النتائج وجود علاقة سلبية بين الزيادة في تركيز النحاس (منفصلة و مختلطة مع الملح) وانخفاض البروتينات. كما أظهر التقدير الكمي من الفلافونويد، البوليفينول والعفص الإجمالي ان المستخلصات النباتية غنية بهذه المركبات النباتات نسبة للنباتات الغير المعالجة و النباتات المعالجة ب 2500 و 2000 منفصلة و مختلطة مع الملح مع كلوريد الصوديوم 0.5%.

كلمات البحث: القطف *canescens* النحاس الإجهاد الملحي ، البروتين،بوليفينول، الفلافونويد والعفص

## LISTE DES FIGURES

- Fig .1 :** Diminution du pourcentage de germination avec l'augmentation de la salinité (Munns et Rawson, 1999).
- Fig .2 :** Croissance de la plante en fonction de la concentration en cuivre dans la matière sèche des parties aériennes de la plante (Reuter et Robinson, 1997)
- Fig.3 :** Transporteurs membranaires du cuivre impliqués dans l'absorption racinaire (Bravin, 2008)
- Fig.4 :** Différents chélateurs et transporteurs cupriques impliqués au niveau cellulaire (Yruela, 2005)
- Fig .5 :** les différentes étapes de la phytoremédiation (les Echos/CNRS)
- Fig .6 :** *Squelette de base des flavonoïdes*
- Fig .7 :** *Atriplex canescens purch nutt (MAIRE 1962).*
- Fig .8 :** la germination
- Fig .9 :** le lavage du sable par l'esprit
- Fig .10 :** le rinçage du sable par l'eau distillée
- Fig. 11 :** le séchage du sable
- Fig .12 :** des pots remplis par une couche de gravier
- Fig .13 :** des pots remplis par le sable mélangé avec le terreau
- Fig .14 :** repiquage les plantes dans les pots
- Fig .15 :** dispositif expérimental des plantes d'*Atriplex canescens* après le stress
- Fig .16 :** dosage de protéines
- Fig .17 :** dosage de polyphénols totaux
- Fig .18 :** dosage de flavonoïde
- Fig .19 :** les étapes de dosage des tanins
- Fig .20 :** Dosage de protéine sur les feuilles et les racines des plante de *l'Atriplex canescences* sous les traitements de NaCl
- Fig.21 :** Dosage de polyphénols sur les feuilles et les racines des plante de *l'Atriplex canescences* sous traitements Na Cl 0,5 et 3%

**Fig.22 :** dosage de flavonoïde sur les feuilles et les racines des plantes de *l'Atriplex canescences* sous le traitement de Na Cl.

**Fig.23 :** Dosage de tanin sur les feuilles et les racines des plantes de *l'Atriplex canescences* sous le traitements de NaCl

**Fig.24 :** Dosage de protéine sur les feuilles et les racines des plante de *l'Atriplex canescences* sous le traitement de cuivre

**Fig.25 :** Dosage de polyphénols sur les feuilles et les racines des plante de *l'Atriplex canescences* sous le traitement de cuivre

**Fig.26:** dosage de flavonoïde sur les feuilles et les racines des plantes de *l'Atriplex canescences* sous le traitement de cuivre.

**Fig.27 :** Dosage de tanin sur les feuilles et les racines des plantes de *l'Atriplex canescences* sous le traitement de cuivre

**Fig.28 :** dosage de protéine sur les feuilles et les racines des plantes de *l'Atriplex canescences* sous les traitement combiné de cuivre + le NaCl(0,5%).

**Fig.29:** dosage de polyphénols sur les feuilles et les racines des plantes de *l'Atriplex canescences* sous le traitement combiné de cuivre +Na Cl (0,5%).

**Fig.30 :** dosage de flavonoïde sur les feuilles et les racines des plantes de *l'Atriplex canescens* sous le traitement combiné de cuivre +Na Cl (0,5%).

**Fig.31:** dosage de tanin sur les feuilles et les racines des plantes de *l'Atriplex canescences* sous les traitement combiné de le cuivre. +NaCl(0,5%)

**Fig.32 :** dosage de protéine sur les feuilles et les racines des plantes de *l'Atriplex canescences* sous les traitement combiné de NaCl(3%) +le cuivre.

**Fig.33 :** dosage de polyphénols sur les feuilles et les racines des plantes de *l'Atriplex canescences* sous le traitement combiné de le cuivre +Na Cl (3%).

**Fig.34 :** dosage de flavonoïde sur les feuilles et les racines des plantes de *l'Atriplex canescens* sous le traitement combiné de cuivre+ NaCl (3%).

**Fig 35 :** dosage de tanin sur les feuilles et les racines des plantes de *l'Atriplex canescences* sous les traitement combiné de NaCl(3%) +le cuivre

## Liste des tableaux

**Tableau n°01** : Fond pédogéochimique français pour Cu

**Tableau n°02** : Composition de la solution nutritive de Hoagland (1938)

**Tableau n°03** : Analyse statistique à l'aide du test de Fisher (à  $p=5\%$ ) de dosage de protéine sur les feuilles et les racines de la plante de *Atriplex canescences* sous le traitement de NaCl

**Tableau n°04** : statistique à l'aide du test de Fisher (à  $p=5\%$ ) de dosage de polyphénols sur les feuilles et les racines des plante de *Atriplex canescens* purch nutt sous les traitements de Na Cl 0,5% et 3%:

**Tableau n°05** : Analyse statistique à l'aide du test de Fisher (à  $p=5\%$ ) de dosage de flavonoïde sur les feuilles et les racines des plantes de *Atriplex canescences* sous le traitement de NaC

**Tableau n°06** : Analyse statistique à l'aide du test de Fisher (à  $p=5\%$ ) de dosage de tanin sur les feuilles et les racines des plantes de *Atriplex canescences* sous le traitements de NaCl:

**Tableau n°07** : Analyse statistique à l'aide du test de Fisher (à  $p=5\%$ ) de dosage de protéine sur les feuilles et les racines des plante de *Atriplex canescences* sous le traitement de cuivre

**Tableau n°08** : Analyse statistique à l'aide du test de Fisher (à  $p=5\%$ ) de dosage de polyphénols sur les feuilles et les racines des plante de *Atriplex canescences* sous le traitement de cuivre

**Tableau n°09** : Analyse statistique à l'aide du test de Fisher (à  $p=5\%$ ) de dosage de flavonoïde sur les feuilles et les racines des plantes de *Atriplex canescences* sous le traitement de cuivre

**Tableau n°10** : Analyse statistique à l'aide du test de Fisher (à  $p=5\%$ ) de dosage de tanin sur les feuilles et les racines des plantes de *Atriplex canescences* sous le traitements de cuivre

**Tableau n°11** : Analyse statistique à l'aide du test de Fisher (à  $p=5\%$ ) de dosage de protéine sur les feuilles et les racines des plante de *Atriplex canescences* sous les traitement combiné de NaCl(0,5%)+le cuivre

**Tableau n°12** : Analyse statistique à l'aide du test de Fisher (à  $p=5\%$ ) de dosage de polyphénols sur les feuilles et les racines des plante de *Atriplex canescences* sous les traitement combiné de cuivre +Na Cl (0,5%).

**Tableau n°13** : Analyse statistique à l'aide du test de Fisher (à p=5%) de dosage de flavonoïde sur les feuilles et les racines des plantes de *Atriplex canescens* sous le traitement combiné de cuivre +Na Cl (0,5%).:

**Tableau n°14** : dosage de tanin sur les feuilles et les racines des plantes de *Atriplex canescences* sous les traitement combiné de le cuivre. +NaCl(0,5%)

**Tableau n°15** : Analyse statistique à l'aide du test de Fisher (à p=5%) de dosage de protéine sur les feuilles et les racines des plante de *Atriplex canescences* sous les traitement combiné de NaCl(3%)+le cuivre

**Tableau n°16** : Analyse statistique à l'aide du test de Fisher (à p=5%) de dosage de polyphénols sur les feuilles et les racines des plante de *Atriplex canescences* sous les traitement combiné de le cuivre + Na Cl (3%)

**Tableau n°17** : Analyse statistique à l'aide du test de Fisher (à p=5%) de dosage de flavonoïde sur les feuilles et les racines des plantes de *Atriplex canescens* sous le traitement combiné de cuivre+ NaCl (3%)

**Tableau n°18** : Analyse statistique à l'aide du test de Fisher (à p=5%) de dosage de tanin sur les feuilles et les racines des plante de *Atriplex canescences* sous les traitement combiné de NaCl(3%)+le cuivre

## liste des abréviations :

- Cm : Centimètre
- C° : Degré Celsius.
- CU : Cuivre.
- DO : Densité Optique
- ETM : Elément Traces Métalliques.
- Fig : Figure
- F : Test de Fisher
- g : Gramme.
- K : Potassium.
- NaCl : Chlorure de Sodium.
- P : Probabilité.
- Ph : Potentiel hydrogène
- PPM : Partie par million
- ROS : Réaction Oxygen Species..
- Test-t : Test Student
- UV : Ultra Violet
- µg : Microgramme.
- Nm :nanomètre
- % : Pourcentage
- ± : plus ou moins
- CuSO<sub>4</sub> :sulfates de cuivre
- h :heur
- HCL : acide chlorhydrique.
- k<sup>+</sup> :ion de potacium
- mg :milligramme
- min :minute
- ml :millimètre
- MS :matière sèche
- NA<sup>+</sup> :ion de sodium
- NS :non significatif
- PPT :polyphénole totaux
- V :volume
- Kg :kilogramme
- CECR : la capacité d'échange cationique racinaire
- SOD : superoxyde dismutase
- M :mètre
- µl :microlitre
- T.C :tanins condensé
- D.O :densité optique
- C.P.S.T :composé phénoliques solubles totaux

## SOMMAIR

Introduction .....	1
I.la salinité .....	3
1. Définition de la salinité .....	3
1.2. Origine de la salinité.....	3
1.2.1 :Salinisation primaire .....	3
1.2.2 :Salinisation secondaire .....	3
2. le stress et la plante .....	4
2.1. Définition de stress .....	4
2.2. Catégories de stress.....	4
2.2.1.Biotique.....	4
2.2.2.Abiotique.....	4
2.3. Types de stress .....	4
2.3.1. Stress thermique.....	4
2.3.2. Stress ionique .....	5
2.3.3. Le stress nutritionnel .....	5
2.3.4. Le stress oxydatif .....	5
2.3.5. Stress salin .....	5
3. Effet de stress salin sur la plante .....	5
3.1.La germination .....	5
3.2. la photosynthèse .....	6
3.3.le développement et la croissance de la plante .....	6
4. Mécanisme d'adaptation des plantes :.....	7

4.1) Adaptation morphologique .....	7
4.2) Adaptations anatomiques.....	7
II-La pollution.....	8
1.Généralité sur la pollution .....	8
1.1. La pollution métallique .....	8
1.2. Contamination des sols par les métaux lourds.....	8
2. présentation général sur le cuivre .....	8
2.1. L'origine de contamination des écosystèmes par le Cu .....	8
2.2. Contamination des sols par le cuivre .....	9
2.3. La mobilité du cuivre dans les sols .....	9
2.4. le cuivre dans la plante.....	10
2.5. Mécanismes d'absorption de cuivre dans la plante .....	11
2.5.1. L'apoplasme, voie principale d'adsorption de $\text{Cu}^{2+}$ .....	11
2.5.2 . Absorption du cuivre $\text{Cu}^{+}$ par la voie symplasmique .....	11
2.6.La distribution de cuivre par la plante .....	12
2.7. le rôle physiologique de cuivre .....	13
3.La phytoremédiation.....	14
3.1. La phytoextraction .....	14
3.2.Phytostabilisation .....	14
3.3.Rhizofiltration .....	15
3.4.Phytodégradation .....	15
3.5.Phytovolatilisation .....	15
4. Avantages et limites de la technique de phytoextraction.....	16
4.1. Avantages de la phytoextraction.....	16
4.2limites de la phytoextraction .....	16
5. Les agents chélatants et les composés organiques.....	16
6. Phytoextraction de cuivre par la plante .....	17
6.1.Les plantes .....	17
III.les antioxydants.....	18
1.Les antioxydants .....	18
1.1. Catégories des antioxydants .....	18

1.1.1. Les antioxydants primaires .....	18
1.1.2. Les antioxydants secondaires .....	18
1.2. Classification des antioxydants.....	19
1.3. Les différents types des antioxydants.....	20
1.3.1. Les polyphénols.....	20
1.3.2 Les flavonoïdes.....	21
1.3.3. les tanins.....	22
2. Les protéines.....	23
IV. les Atriplex.....	25
1. Présentation générale sur <i>l'Atriplex canescence</i> pursh nutte .....	25
1.1. Description morphologique de <i>l'Atriplex canescence</i> .....	25
1.2. L'intérêt fourrager de <i>l'Atriplex</i> .....	26
1.3. le rôle de <i>l'atriplex canescens</i> .....	26
1.4. Propriétés écologiques de <i>l'Atriplex</i> .....	26
V. Matériel et méthodes.....	28
1. Objectif de notre travail.....	28
2. Matériel et Méthodes .....	28
2.1. matériel végétal.....	28
2.2 Méthodes :.....	28
2.2.1 Préparation des graines .....	28
2.2.2 Préparation des plantules .....	28
2.2.3 Préparation du substrat .....	29
2.2.4 Repiquage .....	31
2.2.5 Préparation de la solution de l'arrosage .....	32
2.2.6 Préparation de la solution de stress salin et métallique .....	33
2.2.7. Applications du stress salin.....	34
2.2.8 Dispositif expérimental .....	34
3. dosages des antioxydants :.....	36
3.1. protéines .....	36
3.2. polyphénols totaux .....	37

3.3. les flavonoïdes .....	38
3.4.les tanins .....	39
VI. Résultats et interprétations .....	41
1.L'effet de sel sur les antioxydants.....	41
1.L'effet de cuivre sur les antioxydants:.....	45
1.L'effet de cuivre combiné avec le sel 0,5% sur les antioxydants.....	49
1.L'effet de cuivre combiné avec le sel 3% sur les antioxydants.....	54
DISCUSSION ET CONCLUSION.....	59



# Introduction

## Introduction

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

Les métaux essentiels ou oligo-éléments sont des éléments indispensables à l'état de trace pour de nombreux processus cellulaires et qui se trouvent en proportion très faible dans les tissus biologiques (**Loué, 1993**). Le cuivre est un oligo-élément indispensable à la vie, par son action sur le renforcement du métabolisme des êtres vivants et en particulier les protéines des plantes et des animaux. Le cuivre soluble total, représente généralement moins de 1 à 2 % de cuivre total du sol (**Sauvé et al. 1998**), et peut se trouver sous la forme de l'espèce ionique libre ou les formes complexées à des ligands inorganiques et organiques (**McBride 1981**). La source principale de pollution des sols en cuivre est l'utilisation de fongicides à base de cuivre dans les vignobles, les vergers et pour d'autres cultures sensibles à des maladies cryptogamiques (notamment pommes de terre, houblon et tomates) (**Tiller et Merry, 1981**), la contamination par le cuivre s'accompagne souvent d'une mauvaise structure physique du sol (compaction, tassement...), d'une faible rétention de l'eau, d'une pauvreté en nutriments, d'une acidité du sol (**Simmons et al., 2008**), d'une sécheresse et d'une forte érosion. Dans le sol contaminé en cuivre, les déshydrogénases et les catalases qui sont impliquées dans la respiration du sol sont inhibées (**Ratnikov et al., 2005**).

Les antioxydants font l'objet de nombreuses recherches scientifiques et une nouvelle haleine vers l'exploitation des métabolites secondaires, généralement, et les polyphénols et leurs dérivé particulièrement tant dans l'industrie agro-alimentaire. Les composés qui sont représentés par la famille des flavonoïdes, sont largement recherchés pour leurs propriétés biologiques, notant que l'efficacité puissante de ces substances à stopper les réactions radicalaires en neutralisant les radicaux libres. (**Small et Catling, 2000**). Les halophytes sont des plantes naturellement tolérantes aux sels, utilisées pour des applications économiques, écologiques, alimentaires et dans la production d'antioxydants et d'autres substances bioactives **R. S. Swingle, E. P (1996)** Elles présentent un intérêt particulier dans la compréhension des mécanismes de tolérance des plantes ainsi que

l'amélioration des rendements, la plupart des études sur ce thème concernent la sélection de plantes hyper-accumulatrices et leur rhizosphère. Les atriplex qui sont des espèces naturellement tolérantes au sel. **D. J. Walker, S. et al (2014)**. exprimant de fort stockage du sel dans leurs parties aériennes, sont intéressantes pour la fixation et la dépollution des métaux lourds dans les sols et particulièrement le cuivre.

Nous proposons dans cette recherche une analyse de protéine et l'activité des antioxydant à travers des dosages de cuivre séparé et combiné avec le sel dans différentes concentrations sur *l'atriplex canescens* .

Ce travail comporte trois chapitres :

- Le premier concerne la synthèse bibliographique sur *l'Atriplex canescens (pursh) nutt* , la salinité, la pollution métallique ,les antioxydants, et *l'Atriplex canescens (purch)Nutt* .
- Le deuxième est consacré au protocole expérimental adopté pour la réalisation de notre travail.
- Enfin la troisième partie concerne les résultats, discussions et conclusion .



# **Synthèse**

# **bibliographique**

## 1. Définition de la salinité :

Plusieurs auteurs ont défini la salinité des sols comme étant la présence de concentration excessive de sels solubles, ou lorsque les concentrations en Na ; sous formes de chlorures, carbonates, ou sulfates sont présentes en concentrations anormalement élevées (Asloum, 1990). Un sol salé indique la prédominance de NaCl.

La salinité des sols et des eaux, constitue un obstacle majeur sur la croissance des végétaux, dans les régions arides et semi-arides.

## 1.2. Origine de la salinité :

### 1.2.1 :Salinisation primaire :

La salinisation primaire, d'origine géologique, marine ou lagunaire correspond à une salinisation liée au fonctionnement naturel des terrains, sous l'influence du climat, de l'altération des roches et de la dynamique des eaux.

**a)Salinisation géologique :d'après (SERVANT., 1975) :**Les sels solubles peuvent provenir :

**a.1)** Soit de l'altération des roches contenant des minéraux sodiques potassiques et magnésiques.

**a.2)** Soit de dissolution des évaporites contenant des chlorures, des sulfates, etc.

**a.3)** Soit de l'altération des roches volcaniques (SERVANT., 1975).

### **b) Salinisation marine et lagunaire :**

L'origine des sels peut se trouver dans les dépôts lagunaires ou matériaux salés plus ou moins récents qui peuvent être eux-mêmes des roches mères des sols et fournir leurs sels aux oueds qui les transportent jusqu'aux nappes superficielles plus ou moins profondes sous les sols des vallées et basses plaines (GAUCHER et BURDIN., 1974).

### 1.2.2 :Salinisation secondaire :

Dans les zones à climat aride et semi-aride, la pratique de l'irrigation représente l'une des plus importantes causes de la salinisation secondaire. Actuellement, on dénombre environ 350 millions d'hectares irrigués dans le monde(SZABLOCS., 1994). Ces chiffres sont susceptibles d'être augmentés à l'avenir. D'après **HAMDY et al (1995)** ont constaté que

les terres irriguées affectées par la salinité correspondent à 27% de la surface irriguées dans le monde.

## 2. le stress et la plante :

### 2.1. Définition de stress :

Le stress est un ensemble de conditions qui provoquent des changements de processus physiologiques résultant éventuellement en dégâts, dommages, blessures, inhibition de croissance ou de développement. D'après **JONES et al (1989)**: "C'est une force ou influence hostile qui tend à empêcher un système normal de fonctionner», au niveau d'un écosystème par exemple, toute contrainte externe qui limite la productivité en deçà de la potentialité génétique d'une plante peut être considérée comme stress (**GRIME., 1979**).

**2.2. Catégories de stress** : On distingue deux grandes catégories de stress:

**2.2.1. Biotique**: imposé par d'autres organismes (insectes, herbivores...).

**2.2.2. Abiotique**: provoqué par un défaut ou excès de l'environnement physico-chimique comme la sécheresse, les températures extrêmes, la salinité... ,Les stress abiotique ou environnementaux affectent la croissance et le rendement des plantes, contrairement aux animaux qui peuvent se déplacer lorsque les conditions leur de vie ne sont plus favorables.

### 2.3. Types de stress :

#### 2.3.1. Stress thermique :

Le stress thermique est souvent défini quand les températures sont assez hautes ou basses pendant un temps suffisant pour qu'elles endommagent irréversiblement la fonction ou le développement des plantes qui exigent une gamme bien particulière de températures optimale, pour effectuer leur croissance et leur développement, qui ne peuvent se dérouler qu'entre des limites supérieures et inférieures. Lorsque la température avoisine ces limites, la croissance diminue et au delà, elle s'annule (**Oukarroum, 2007**)

**2.3.2. Stress ionique :**

L'accumulation des ions de  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  au niveau du mésophile des feuilles, affecte la croissance et le métabolisme de la plantes (**Chinnusamy et Zhu, 2004**) , La présence de ces ions perturbent l'activité enzymatique cellulaire (**Hasegawa et al., 2000**) principalement dans les tissus photosynthétiques

**2.3.3. Le stress nutritionnel :**

des concentrations salines trop fortes dans le milieu, provoquent une altération de la nutrition minérale, en particulier vis-à-vis des transporteurs ioniques cellulaires. Le sodium entre en compétition avec le potassium et le calcium, et le chlorure avec le nitrate, le phosphore et le sulfate. **JONES et al (1989)**.

**2.3.4. Le stress oxydatif :**

Le stress oxydatif se définit comme étant un déséquilibre profond de la balance entre les prooxydants et les antioxydants (**PINCEMAIL et al., 1999**)

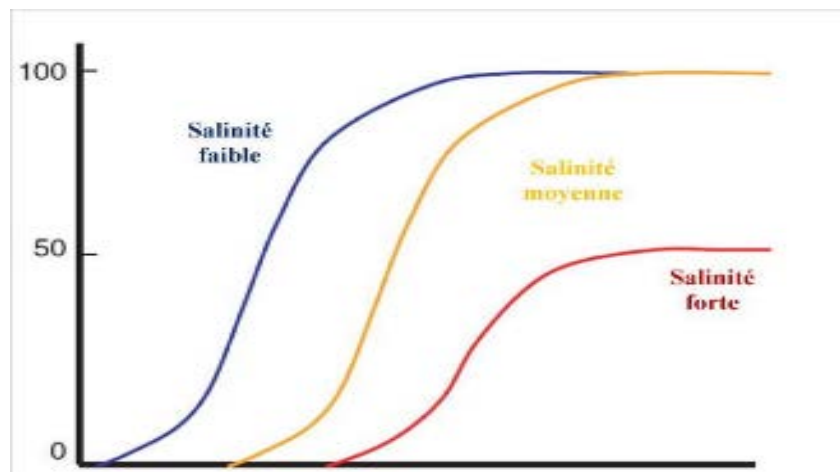
**2.3.5. Stress salin :**

Le stress salin est un excès d'ions, en particulier, mais pas exclusivement, aux ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  (**HOPKINS., 2003**). Le stress salin est dû à la présence de quantités importantes de sels potentiels hydriques. Il réduit fortement la disponibilité de l'eau pour les plantes, on parle alors de milieu "physiologiquement sec" (**TREMBUN., 2000**).

La quantité de sels dans le sol que les plantes peuvent supporter sans grand dommage pour leur culture, varie avec les familles, les genres et les espèces, mais aussi les variétés considérées (**LEVIGNERON et al., 1995**).

**3. Effet de stress salin sur la plante :****3.1.La germination :**

La salinité a un effet nocif sur la germination qui peut être de nature soit osmotique soit toxique (**LEVIGNERON et al., 1995**). elle agit également sur laquel en ralentissant sa vitesse, ce qui expose plus les semences aux risques .il a été démontré que la salinité inhibe la germination par son effet osmotique (**PINCEMAIL et al., 1999**) qui se traduit par la difficulté qui pour déclencher les processus métaboliques (**PINCEMAIL et al., 1999**)



**Figure 1** : Diminution du pourcentage de germination avec l'augmentation de la salinité (Munns et Rawson, 1999).

### 3.2. la photosynthèse :

La salinité affecte l'activité physiologique de la feuille, et plus particulièrement la photosynthèse, qui présente la cause principale de la réduction de la productivité végétale (Alem *et al.*, 2002). Selon Munns et Tester (2008), la réduction de la photosynthèse est liée à la diminution du potentiel hydrique foliaire, qui est à l'origine de la fermeture des stomates (Price et Hendry, 1991), qui cause la réduction de la conductance stomatique. (Orcutt et Nilsen, 2000)

### 3.3. le développement et la croissance de la plante

La salinité retarde le développement des feuilles et le tallage, mais elle pousse la plante vers la maturité (Munns et Rawson, 1999). L'observation des changements de développement de l'apex, lors de la croissance végétative jusqu'à la phase reproductive, a permis à ces auteurs de constater que la salinité accélère la phase reproductive. Ces auteurs ont constaté aussi que la phase terminale de la formation des épillets se produit environ deux semaines plus tôt chez la plante soumise à un stress par rapport aux non stressés. Ainsi que l'anthesis a lieu plus tôt pour les plantes sous stress, mais le tallage a été retardé de plusieurs jours

#### 4. Mécanisme d'adaptation des plantes :

La réponse à la salinité se manifeste généralement chez la plupart des plantes cultivées par un effet dépressif sur la croissance et le développement (Munns *et al.*, 1995). Cette réponse varie considérablement en fonction du genre, de l'espèce et même de l'écotype ou de la variété (Epstein *et al.*, 1980). Selon le degré de la salinité dans le milieu, les glycophytes en particulier sont exposées à des modifications de leur comportement morpho-physiologique (Ben Naceur *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 en déclenchant des mécanismes de résistance (Batanouny, 1993).

##### 4.1) Adaptation morphologique :

La succulence, qui se traduit par une accumulation d'eau dans les cellules constitutives des tissus des organes aériens, est l'un des caractères les plus communs aux halophytes. La succulence des cellules foliaires augmente, se traduisant par une augmentation de l'épaisseur des feuilles sont l'une des modifications qui apparaît de façon plus importante chez les espèces les plus tolérantes. On note de plus la réduction de la surface foliaire, par exemple chez *Cressa cretica* et *Tamarix gallica* (RAACHE et KARBOUSSA., 2004); la présence d'une cuticule épaisse et l'apparition plus précoce de la lignification de quelques organes à la fin de leur cycle de vie (POLJAKOFF-MAYBER., 1975; RAACHE et KARBOUSSA., 2004).

##### 4.2) Adaptations anatomiques

Des modifications anatomiques apparaissent au niveau des différents organes lors d'un stress salin. Selon POLJAKOFF-MAYBER (1975), on observe des modifications du cortex qui, chez les halophytes est constitué de deux à trois couches de cellules seulement, ainsi qu'une diminution du diamètre de la stèle au niveau des racines du blé et chez la tige de la tomate, où le cortex devient épais alors que le nombre de vaisseaux conducteurs diminue.

**1. Généralité sur la pollution :**

La pollution est la dégradation d'un écosystème par l'introduction, généralement humaine, de substances ou de radiations altérant de manière plus ou moins importante le fonctionnement de cet écosystème. Par extension, le mot désigne aussi parfois les conséquences de phénomènes géologiques. (Munns et Rawson, 1999).

**1.1. La pollution métallique :**

les métaux existent naturellement dans les sols car ils sont présents dans la roche mère qui subit notamment des phénomènes d'érosion et d'altération. Les métaux lourds comme le plomb, le cadmium, le cuivre et le mercure ne peuvent pas être biodégradés et donc persistent pendant de longues périodes dans le sol ; ce qui constitue un sérieux problème. (Robert et Juste, 1999)

**1.2. Contamination des sols par les métaux lourds :**

Les métaux peuvent être, soit fixés dans les roches et les sédiments, soit mobiles. Dans le premier cas, les quantités disponibles sont infimes, elles n'ont aucune influence sur l'environnement. Mais lorsque les conditions changent de telle manière que les métaux redeviennent solubles, l'augmentation de la concentration devient alors une menace directe sur l'environnement. En outre, depuis quelques années, les pluies acides augmentent la mobilité des métaux dans le sol et causent donc une augmentation de leur concentration dans les produits agricoles (BLIEFERT et PERRAUD, 2001).

**2. présentation général sur le cuivre :**

Le cuivre (Cu) est le premier minéral extrait dans le monde (LME 2008). Il se présente sous forme de sels présents dans l'écorce terrestre, le Cu est utilisé dans de nombreux domaines, l'industrie électrique, la construction, l'industrie automobile, etc

**2.1. L'origine de contamination des écosystèmes par le Cu :**

a) **l'industrie** : les activités sont surtout l'industrie métallurgique et minière.

b) **l'agriculture** : ce sont les épandages de lisier, le Cu étant utilisé comme additif alimentaire dans les élevages, et l'utilisation de fertilisants, de fongicides et de bactéricides.

c) **domestiques** : ce sont les épandages de boues de stations d'épuration ou la fertilisation organique avec des composts de déchets verts, d'ordures ménagères... (Adriano 1986., Arias *et al.* 2002., Brun *et al.* 2003., Acemioglu & Alma 2004., Chen *et al.* 2005).

## 2.2. Contamination des sols par le cuivre :

Type de sol	Cu mg/kg
Sableux	3,2
Limoneux	6,2
Equilibré	11,8
Argileux	14,5
Très argileux	16,7

**Tableau 1 : Fond pédogéochimique français pour Cu**

Lorsque le sol est contaminé en Cu, il y a une diminution et un ralentissement des processus de nitrification et de minéralisation (Dumestre *et al.* 1999), qui se traduit par une moindre décomposition de la litière (Hutchinson & Symington 1997). Il peut donc y avoir une couche de litière plus importante mais l'inverse est aussi rapporté car la production de litière par les plantes est aussi plus faible (Boon *et al.* 1998). Dans les sols contaminés, la contamination s'accompagne souvent d'une mauvaise structure physique du sol (compaction, tassement...), d'une faible rétention de l'eau, d'une pauvreté en nutriments (Whiteley & Williams 1993), d'une acidité du sol (Simmons *et al.* 2008), d'une sécheresse et d'une forte érosion (Wong 2003). En sol contaminé en Cu les déshydrogénases et les catalases qui sont impliquées dans la respiration du sol sont inhibées (Ratnikov *et al.* 2005).

## 2.3. La mobilité du cuivre dans les sols :

La migration du Cu est très faible, quel que soit le type de sol (Delas, 1963). Dès qu'il est en contact avec le sol, à la suite d'un dépôt atmosphérique ou d'un épandage à des fins agricoles, le Cu sera fortement adsorbé dans les premiers centimètres du sol (Brun *et al.*,

1998; Dameron et Howe, 1998). Néanmoins, la mobilité du Cu, aussi minime soit-elle, peut se produire, soit sous forme d'un entraînement vertical ou d'un déplacement latéral, soit par absorption et exportation par les végétaux. Il est important d'en faire mention, car ces différents types de migration pourront être observés dans un parc à résidus miniers.

#### 2.4. le cuivre dans la plante :

Le cuivre se lie à un récepteur spécifique sur la surface externe de la membrane plasmique (Lastra *et al.*, 1987). Le complexe est déplacé à travers la membrane plasmique et une fois sur la surface interne, le complexe change de configuration ; le cuivre est alors libéré dans le cytoplasme. La sève brute du xylème permet son transport vers les parties aériennes. La sensibilité des racines au cuivre (Stiborva *et al.*, 1986 ; Jarvis et Whitehead, 1993) est probablement due à sa forte accumulation dans ces organes ainsi que sa faible translocation vers les parties aériennes. Jiang *et al.*, (2000) ont montré que le  $Cu^{2+}$  inhibe la croissance des racines. Muller *et al.*, (2001) ont montré que, l'élongation racinaire est le paramètre le plus sensible suite à des expositions au sulfate de cuivre présent dans l'eau ou dans le sédiment, alors que cette plante ne présente pas de signes de chlorose. L'inhibition de la croissance racinaire peut résulter de l'interférence du cuivre avec le métabolisme cellulaire (Seregin et Ivanov, 2001) , notamment, avec la division cellulaire et/ou l'élongation cellulaire (Wainwright et Woolhouse, 1977 ; Hagemeyer et Breckle, 1996 ; Jiang *et al.* 2000).

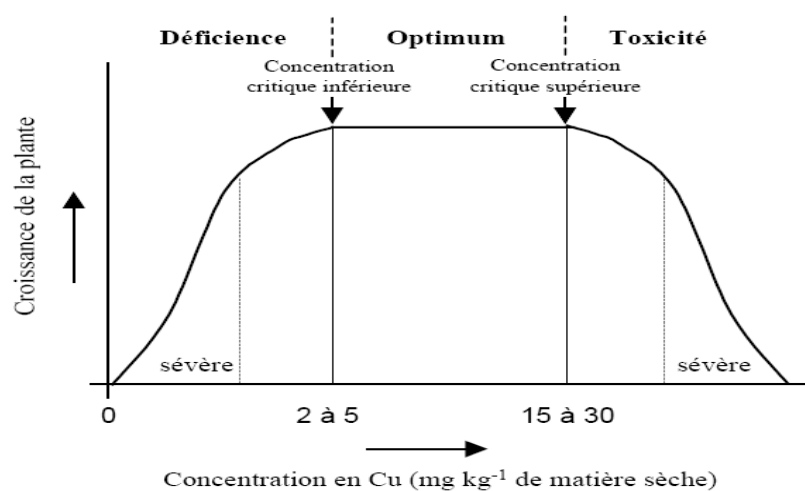


Figure 2: Croissance de la plante en fonction de la concentration en cuivre dans la matière sèche des parties aériennes de la plante (Reuter et Robinson, 1997)

## 2.5. Mécanismes d'absorption de cuivre dans la plante :

Le cuivre s'accumule surtout dans les racines à cause sa forte affinité pour l'apoplasme racinaire (Marschner, 1995) ce qui explique en grande partie les teneurs élevées des racines en cuivre. Ainsi de 10 à 84 % du cuivre total dans les racines est du cuivre apoplasmique (Iwasaki et al., 1990, Brun et al., 2001, Michaud et al., 2007).

Il existe deux voies d'absorption du cuivre au niveau racinaire

### 2.5.1. L'apoplasme, voie principale d'adsorption de $\text{Cu}^{2+}$ :

La composition de l'apoplasme et la capacité d'échange cationique racinaire (CECR) varient suivant l'espèce, la variété et l'âge du végétal (Marschner, 1995). Plus la CECR est élevée, plus la concentration en cuivre adsorbée dans l'apoplasme sera importante (Iwasaki et al., 1990). L'apoplasme racinaire possède des groupes fonctionnels, le plus souvent carboxyliques, chargés négativement à pH neutre ou alcalin, qui peuvent fortement se lier aux ions  $\text{Cu}^{2+}$  (Mengel et Kirkby, 2001, Iwasaki et al., 1990).

- L'adsorption du cuivre sur les constituants de la paroi cellulaire augmente avec le pH (Linehan, 1984) tandis que la complexation du cuivre avec les ligands organiques comme l'acide malique et surtout l'acide citrique diminue son adsorption apoplasmique (Vulkan et al., 2004).
- L'adsorption apoplasmique du cuivre sur les parois cellulaires pourrait être mobilisée lors de carence en cuivre et être une étape préliminaire à l'absorption du cuivre (Graham, 1981, Von Wiren et al., 1995).

### 2.5.2 . Absorption du cuivre $\text{Cu}^{+}$ par la voie symplasmique :

L'absorption des métaux correspond à leur transport à travers la membrane plasmique. Pour le cuivre, l'absorption s'effectue majoritairement sous la forme ionique libre  $\text{Cu}^{+}$  mais la forme liée aux ligands organiques pourrait être absorbée sans dissociation (Xuan et al., 2006). Les mécanismes d'absorption du cuivre sont encore mal connus, bien qu'ils aient été étudiés, ils nécessitent des transporteurs à haute affinité pour  $\text{Cu}^{+}$ , les COPT (copper transporters), Comme le cuivre est présent dans l'apoplasme sous la forme  $\text{Cu}^{2+}$ , il doit être réduit sous la forme  $\text{Cu}^{+}$  pour passer la membrane plasmique via les transporteurs COPT1 et COPT2. Cette réduction est possible grâce à des protéines de la

membrane plasmiques FRO (ferric réductase oxydase) qui réduisent également les ions  $\text{Fe}^{3+}$  (Puig et al., 2007)

Les transporteurs transmembranaires des métaux sont rarement spécifiques à un seul métal. Le transport d'un métal est donc en compétition avec d'autres ions dont  $\text{H}^+$  et dépend donc du pH (Bravin, 2008). Il y a une compétition pour les sites d'adsorption racinaire entre  $\text{H}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  (Kinraide et al., 2004, Vulkan et al., 2004). L'affinité des membranes plasmiques pour  $\text{Cu}^{2+}$  est plus importante que pour  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  (Vulkan et al., 2004). Pourtant, l'absorption du cuivre est stimulée par  $\text{Ca}^{2+}$  et inhibée par  $\text{Zn}^{2+}$  (Martins et al., 2012). Pour  $\text{pH} < 5$ , les ions  $\text{Al}^{3+}$  plus solubles, entrent également en compétition avec les ions  $\text{Cu}^{2+}$  avec des effets rhizotoxiques semblables à ceux du cuivre.

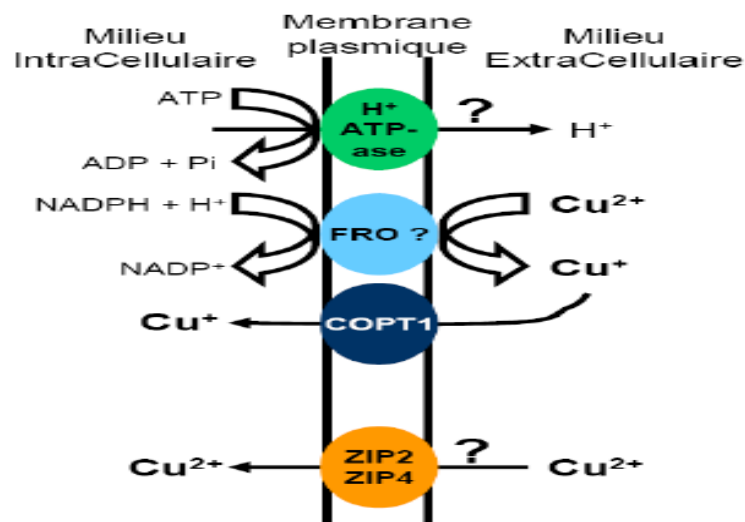
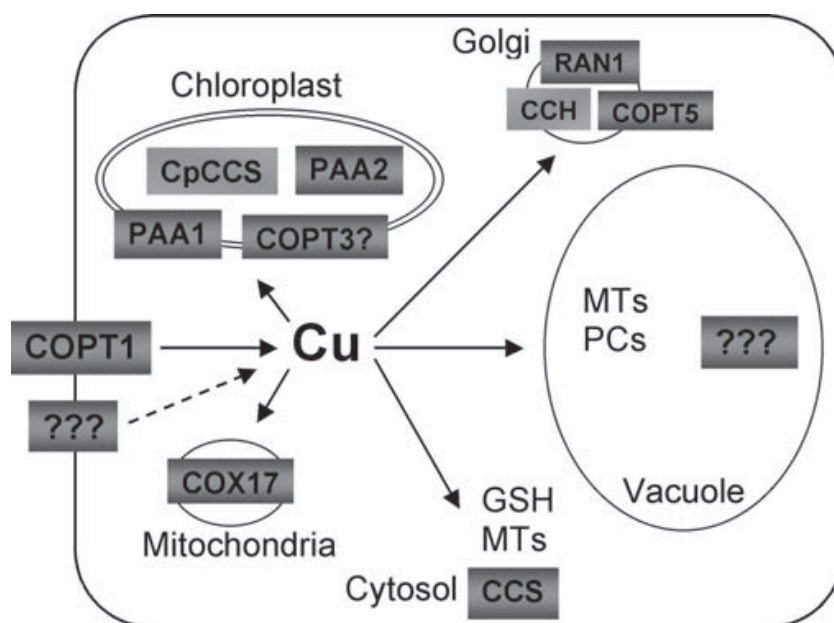


Figure3: Transporteurs membranaires du cuivre impliqués dans l'absorption racinaire (Bravin, 2008)

## 2.6. La distribution de cuivre par la plante :

La distribution du cuivre entre parties aériennes et souterraines varie selon l'espèce, voire le cultivar, et en fonction des conditions environnementales (Loneragan, 1981). Après avoir franchi les membranes plasmiques des cellules racinaires, l'ion  $\text{Cu}^+$  est transporté vers les parties aériennes via le xylème sous forme complexé par des acides aminés (Brun et al., 2001) par l'histidine ou la nicotianamine (Clemens, 2001) ou des acides organiques comme le citrate ou le malate (Puig et al., 2007)

La translocation du cuivre dans la plante est donc probablement contrôlée par le métabolisme de l'azote (Brun et al., 2001). Le cuivre est ensuite stocké dans les vacuoles et d'autres organites cellulaires (figure 4) Le cuivre pénètre dans la cellule grâce au transporteur COPT1. sont des transporteurs spécifiques utilisés pour pénétrer dans les organites : COPT5 et RAN1 pour l'appareil de Golgi, COPT3, PAA1 et PAA2 pour les chloroplastes et COX17 pour les mitochondries (Yruela, 2005). Le cuivre pourrait également être transporté dans la vacuole et les chloroplastes grâce à des pompes à protons ATP-ases qui pourraient également être utilisées pour d'autres cations. (Martins et al., 2012, Yruela, 2005)



**Figure 4: Différents chélateurs et transporteurs cupriques impliqués au niveau cellulaire (Yruela, 2005)**

### 2.7. le rôle physiologique de cuivre :

Le Cu est un nutriment essentiel pour les plantes (Marschner, 1995; Larcher, 2003). Il joue un rôle important dans la photosynthèse (Coïc et Coppenet, 1989; Loué, 1993). En effet, environ 70 % du Cu d'un végétal se retrouve dans la chlorophylle (Katyal et Randhawa, 1986). Il a une fonction capitale dans l'assimilation (Katyal et Randhawa, 1986) et la respiration (Coïc et Coppenet, 1989), mais aussi dans le métabolisme protéique, la lignification et la production d'ADN et d'ARN (Kabata-Pendias et Pendias, 1992; Marschner, 1995). En outre, il est nécessaire aux enzymes, car en changeant de

valence il assure l'oxydation ou la réduction dans le cycle catalytique (Loué, 1993). Cependant, comme tous les éléments majeurs et oligo-éléments, une déficience et un excès de Cu affectent une multitude de processus physiologiques

### 3. La phytoremédiation :

La phytoremédiation est définie comme l'utilisation de plantes pour absorber, dégrader ou immobiliser les contaminants du sol. Cette technique est considérée comme très prometteuse pour la remédiation des sites pollués (Garbisu et Alkorta, 2001). Elle peut être utilisée pour dépolluer des surfaces contaminées par des polluants qui sont présents dans le sol, dans l'air et dans l'eau (Salt et al., 1998). En effet, les coûts de la croissance d'une culture sont minimes comparés au fait d'éliminer et de remplacer la terre.

Il existe plusieurs classifications pour les techniques de phytoremédiation. Nous citons ici les plus employées :

**3.1. La phytoextraction** : est l'utilisation de plantes pour absorber les contaminants du sol par leurs racines et les transporter jusqu'à leurs parties aériennes (Banuelos et al., 1999).

Les plantes utilisées pour la phytoextraction doivent avoir les caractéristiques suivantes :

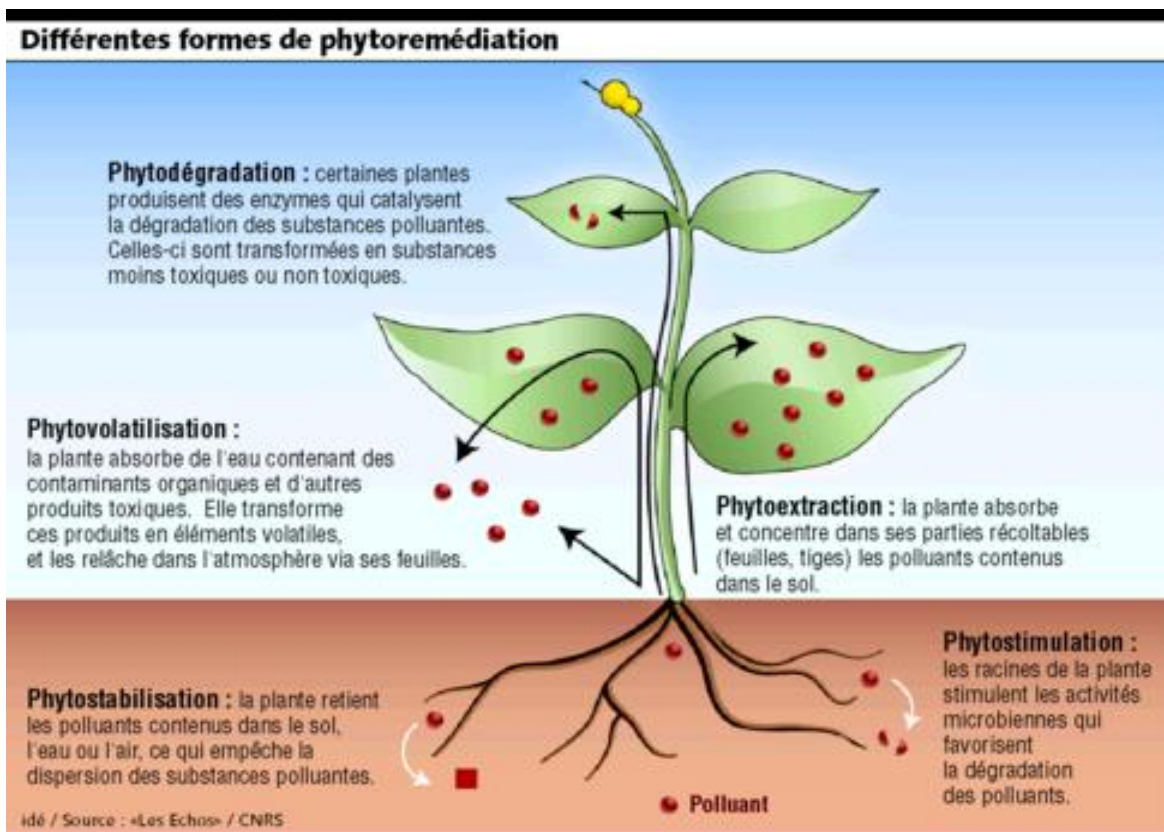
- tolérance à un niveau élevé de métal,
- accumulation raisonnable du métal,
- croissance rapide,
- production importante de biomasse,
- développement racinaire important.

**3.2. Phytostabilisation** : La phytostabilisation utilise les plantes pour immobiliser les contaminants dans le sol grâce à l'absorption et l'accumulation dans les racines, l'adsorption au niveau des racines ou la précipitation dans la zone racinaire provoquant une stabilisation physique des sols.

**3.3. Rhizofiltration :** La phytofiltration est l'utilisation de plantes (rhizofiltration) ou des semis (blastofiltration) pour absorber ou adsorber les polluants, surtout les métaux contenus dans les milieux aquatiques (Prasad et De Oliveira Freitas, 2003). Les racines des plantes ou les semis vont absorber, précipiter et concentrer les métaux présents dans l'eau (Dushenkov et Kapulnik, 2000).

**3.4. Phytodégradation :** La phytodégradation ou phytostimulation est l'utilisation de plantes pour dégrader les polluants organiques difficilement biodégradables tels que les hydrocarbures

**3.5. Phytovolatilisation :** Certains contaminants métalliques comme l'As, Hg et Se peuvent être présents sous forme gazeuse dans l'environnement. Il existe des plantes naturelles ou génétiquement modifiées capables d'absorber les formes élémentaires de ces métaux dans le sol et de les convertir en forme gazeuse pour les libérer dans l'atmosphère .



**Figure 5 :** les différentes étapes de la phytoremédiation (les Echos/CNRS)

## 4. Avantages et limites de la technique de phytoextraction

### 4.1. Avantages de la phytoextraction :

La technique de phytoextraction présente de nombreux intérêts, d'ordre environnemental et économique. En effet, l'activité biologique et la structure des sols sont maintenues après le traitement. En plus, le coût de la technique est bien moindre que celui des procédés physico-chimiques. D'autre part, les plantes permettent de conserver un paysage agréable (reverdissement et floraison), et aussi d'installer une communauté de microflore et de microfaune métallo-résistantes pouvant agir en synergie avec ces plantes afin d'accélérer le processus de décontamination. Les plantes peuvent être facilement surveillées et récoltées à des fins de traitement et la biomasse végétale réutilisée (**Garbisu et Alkorta, 2001**).

### 4.2limites de la phytoextraction :

Comme toute technologie de décontamination des sols, la phytoextraction comporte certaines limites avec lesquelles il faut composer. Cette idée a été initialement introduite par **Baker et al. (1989)**. Malheureusement, la majorité des plantes hyperaccumulatrices présentent une faible production de biomasse et une vitesse de croissance lente demandant un investissement en temps assez important, et/ou en argent avec l'adjonction de chélateurs. En outre, l'efficacité de cette approche est conditionnelle au type de sol et de contaminants, à la concentration des contaminants, de leur distribution et à leur biodisponibilité. La concentration et le type de métaux lourds influencent la phytotoxicité, et dans certains cas, la croissance des plantes peut être réduite. De plus, le traitement s'étend généralement sur une longue période et nécessite un suivi

## 5. Les agents chélatants et les composés organiques :

La chélation métallique est un phénomène important dans les sols. Elle agit sur la biodisponibilité et le mouvement du Cu et autres ETM en affectant plusieurs processus physiques, chimiques et biologiques du sol (**Lindsay, 1979; Jarvis, 1981b**). Les agents chélatants proviennent des exsudats racinaires\ de la décomposition des MO par les microbes du sol, de la synthèse microbienne ou de la fabrication industrielle .  
(**Coïc et Coppenet, 1989**).

## 6. Phytoextraction de cuivre par la plante :

C'est le prélèvement des métaux par les racines d'une plante, le transfert par translocation et l'accumulation dans ses parties aériennes récoltables (**Kumar et al., 1995**). Ces plantes peuvent être récoltées et incinérées, et les cendres peuvent être recyclées en métallurgie ou stockées (**Blaylock et Huang, 2000**).

L'efficacité de la phytoextraction est fonction d'un certain nombre de facteurs, tels l'espèce végétale, la phytodisponibilité du Cu, le prélèvement du Cu, la capacité de la plante à l'accumuler dans ses parties aériennes et la tolérance de la plante aux concentrations toxiques (**Ernst, 1996; Blaylock et Huang, 2000; McGrath et Zhao, 2003**). Afin d'optimiser la réussite de la phytoremédiation, une fertilisation minérale et des amendements organiques sont requis pour améliorer les caractéristiques intrinsèques du sol et assurer une croissance optimale de la plante. De plus, l'apport d'agents chélatants s'avère nécessaire pour augmenter la fraction labile du Cu, et ainsi, faciliter son prélèvement par les plantes et sa translocation des racines vers les parties aériennes. (**Miller, 1996; Suthersan, 1996; Blaylock et Huang, 2000, Robinson et al, 2003**).

### 6.1. Les plantes :

Les plantes hyperaccumulatrices sont souvent citées dans la littérature (*Thlaspi caerulescens* pour le Zn et *Paspalum notatum* pour le Cu). Elles ont l'avantage d'accumuler de très grandes quantités de métaux dans leurs tissus, cependant, elles ne sont généralement pas appropriées à une restauration commerciale (**Blaylock et Huang, 2000**), car elles ont l'inconvénient d'être fragiles, de croître lentement et d'avoir une faible biomasse (**Lasat, 2002**). De plus, elles sont rares, non adaptées à toutes les conditions climatiques et ne couvrent pas tout le spectre des polluants (**Suthersan, 1996**).

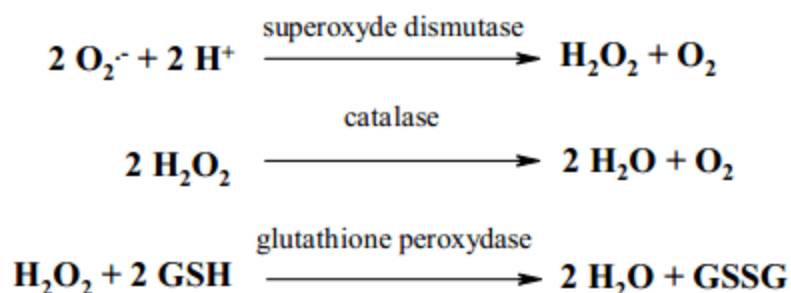
### 1. Les antioxydants

Les antioxydants peuvent être définis comme toute substance qui, présente à faible concentration par rapport au substrat oxydable, est capable de ralentir ou d'inhiber l'oxydation de ce substrat. Cette définition fonctionnelle s'applique à un grand nombre de substances, comprenant des enzymes aux propriétés catalytiques spécifiques, mais aussi de petites molécules hydro- ou liposolubles. Cette grande variété physico-chimique autorise la présence d'antioxydants dans tous les compartiments de l'organisme, qu'ils soient intracellulaires, membranaires ou extracellulaires (Cano, N et al 2006)

#### 1.1. Catégories des antioxydants :

##### ➤ a) Les antioxydants primaires :

La cellule est pourvue d'enzymes antioxydantes qui sont des systèmes de défense très efficaces. Cette ligne de défense est constituée de superoxyde dismutase (SOD), de catalase et de peroxydase (glutathion et ascorbate) ((Cano, N et al 2006). Ces enzymes antioxydantes permettent l'élimination des radicaux libres primaires, selon les réactions suivantes :



De ce fait elles préviennent la formation de radicaux libres organiques à partir des lipides membranaires notamment et contribuent donc à la protection des membranes de la peroxydation lipidique (Dacosta, 2003).

##### ➤ b) Les antioxydants secondaires :

Ce sont des molécules exogènes. Contrairement aux enzymes antioxydantes, une molécule d'antioxydant piège un seul radical libre. Pour pouvoir fonctionner à nouveau, cette molécule d'antioxydant doit donc être régénérée par d'autres systèmes (Dacosta, 2003).

Plusieurs substances pouvant agir en tant qu'antioxydants in vivo ont été proposés. Elles incluent : la vitamine E, l'acide ascorbique, le  $\beta$ -carotène, les flavonoïdes, les composés phénoliques, ...etc. (K. Bouhadjra 2011)

**1.2. Classification des antioxydants :** Les antioxygènes sont classés dans trois catégories différentes:

### **1.2.1. Antioxydants synthétiques:**

Parmi les antioxydants phénoliques de synthèse qui sont autorisés dans certains aliments : le BHT 321 (3,5-ditertiobutyl-4-hydroxytoluène), BHA 320 (3-tertiobutyl-4-hydroxyanisole), sont l'un et l'autre soluble dans les lipides et résistent bien à la chaleur. Ils ont une action synergique, ils présentent l'inconvénient d'avoir une odeur désagréable et s'évapore rapidement. Le TBHQ (tertiobutyl-hydroxyquinone) est moins soluble dans les graisses et le PG (gallate de propyle) à l'avantage d'être relativement soluble dans l'eau, mais l'inconvénient d'être peu soluble dans les lipides, peu résistant à la chaleur et de donner avec le fer des sels de couleur foncée. Le nitrite présente des propriétés antioxydantes, il peut aussi former des nitrosamines cancérigènes. Les chélateurs de métaux utilisés et plus efficaces sont les polyphosphates et les dérivés d'acide citrique. (K. Bouhadjra 2011).

### **1.2.2. Substances synergiques :**

Ce sont des molécules qui améliorent l'action de certains antioxydants. Ce qui se traduit souvent par un accroissement de la période de protection, parmi eux se trouvent : Les acides lactique, tartrique et ortho phosphorique et leurs sels de sodium, potassium ou calcium. Leurs propriétés peuvent s'expliquer par un effet chélatant de métaux comme le fer ou le cuivre, dont on connaît bien l'effet pro-oxydant à faible dose. Cependant, ce n'est peut-être pas la seule explication, car plusieurs de ces produits sont d'assez mauvais chélatants.

### **1.2.3. Antioxydant d'origine végétale :**

Les plantes constituent des sources très importantes d'antioxydants. Les antioxydants naturels dont l'efficacité est la plus reconnue aussi bien dans l'industrie agroalimentaire que pour la santé humaine sont : les tocophérols, les caroténoïdes et les polyphénols. K. Bouhadjra (2011),

### 1.3. Les différents types des antioxydants :

#### 1.3.1. Les polyphénols:

Les composants phénoliques sont des métabolites secondaires caractérisés par la présence d'un cycle aromatique portant des groupements hydroxyles libres ou engagés avec des glucides.

Ils sont présents dans toutes les parties des végétaux (racines, tiges, feuilles, fleurs, pollens, fruits, graines et bois) ; et sont impliqués dans de nombreux processus physiologiques comme la croissance cellulaire, la rhizogénèse, la germination des graines et la maturation des fruits.

Les principales classes des composants phénoliques sont les acides phénoliques (acide caféique, acide hydroxycinnamique, acide ferulique, acide chlorogénique...), les flavonoïdes, les tanins, et les coumarines.

Les composants phénoliques sont des molécules biologiquement actives, ils sont largement utilisés en thérapeutique comme vasoconstricteurs, anti-inflammatoires, inhibiteurs enzymatiques, antioxydants et antiradicalaires, antimicrobiens. **S.Djemai Zoughlache** (2008),

##### 1.3.1.1. Rôle et intérêt des composés phénoliques :

Le rôle des composés phénoliques est maintenant reconnu dans différents aspects de la vie de la plante et dans l'utilisation que fait l'homme des végétaux. Ils peuvent en effet intervenir:

- Dans certains aspects de la physiologie de la plante (lignification, régulation de la croissance, interactions moléculaires avec certains microorganismes symbiotiques ou parasites...).
- Dans les interactions des plantes avec leur environnement biologique et physique (relations avec les bactéries, les champignons, les insectes, résistance aux UV), soit directement dans la nature soit lors de la conservation après récolte de certains végétaux.
- Dans les critères de qualité (couleur, astringence, amertume, qualités nutritionnelles...) qui orientent les choix de l'homme dans sa consommation des organes végétaux (fruits, légumes, tubercules...) et des produits qui en dérivent par transformation.

- Dans les variations de certaines caractéristiques des végétaux lors des traitements technologiques (préparation des jus de fruits, des boissons fermentent...) pendant lesquels apparaissent fréquemment des brunissements enzymatiques qui modifient la qualité du produit fini.
  - Dans la protection de l'homme vis-à-vis de certaines maladies en raison de leur interaction possible avec de nombreuses enzymes et de leurs propriétés antioxydantes. **K. Benarous** (2006)

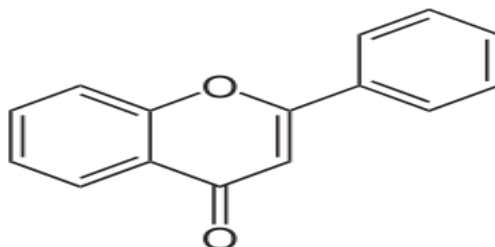
### 1.3.2 Les flavonoïdes :

Les flavonoïdes désignent une très large gamme de composés naturels appartenant à la famille des polyphénols.

Ces molécules sont considérées comme des pigments quasiment universels des végétaux ;ils sont responsables de la coloration des fleurs, des fruits et parfois des feuilles. Ils existent le plus souvent à l'état naturel sous forme d'hétérosides.

Les flavonoïdes sont des dérivés benzo- $\gamma$ -pyran. Leur structure de base est celle d'un diphenylpropane à 15 atomes de carbone (C6-C3 -C6), constitué de deux noyaux aromatiques (ou anneaux) que désignent les lettres A et B, reliés par un hétérocycle oxygénés, qui désigne la lettre C.

La classe des flavonoïdes comporte à elle seule plus de 4000 substances qui ont été isolées et identifiées à partir des milliers des plante (**K. Benarous** ) qu'endivise en plusieurs catégories : Les flavones, les flavonols et les dihydroflavonols, les isoflavonoïdes, les biflavonoides, les flavanones, les flavanols, les flavanediols(leucocyanidines), les anthocycanidines, les chalcones et les dihydrochalcones, les auronnes. **S.Djemai Zoughlache** (2008)



**Figure 6** :Squelette de base des flavonoïdes

### 1.3.2.1 classifications des flavonides :

*a) Flavonoïdes hétérosides* : la partie osidique peut être mono, di ou trisaccharidique. En général, les hétérosides sont hydrosolubles et solubles dans les alcools, bon nombre d'entre eux ont une hydrosolubilité plutôt faible (rutoside, hespéroside).

*b) Les flavonoïdes aglycones* : Les génines sont, pour la plupart, solubles dans les solvants organiques apolaires. Les lipophiles des tissus superficiels des feuilles (ou des frondes) sont directement extraits par des solvants moyennement polaires (dichlorométhane) ; il faut ensuite les séparer des cires et des graisses extraites simultanément (on peut certes laver d'abord à l'hexane, mais la sélectivité de ce solvant n'est pas absolue) **M. Belguidoum** (2012)

### 1.3.2.2. Quelques propriétés des flavonoïdes :

Les flavonoïdes protègent les plantes contre les radiations UV, elles sont également impliquées dans les processus de défense de la plante contre les infections bactériennes et virales. Agissent comme des pigments ou des co-pigments. Peuvent moduler la distribution d'auxine, comme elles fonctionnent comme des signaux moléculaires de reconnaissance entre les bactéries symbiotiques et les légumineuses afin de faciliter la fixation de l'azote moléculaire. Agissent sur la régulation de l'élongation des tiges et interviennent dans la maturité des fruits. Sont à l'origine des goûts amers et astringents afin de repousser les animaux herbivores (**STIBORVA M.M.**).

### 1.3.3. les tanins :

Les tanins sont très répandus dans le règne végétal, ils sont particulièrement abondants chez les Conifères, les Fagacées, les Rosacées. Tous les organes végétaux peuvent en renfermer (l'écorce, le bois, les feuilles, les fruits, les racines, les graines). Les tanins sont présents dans une variété de plantes utilisées dans l'alimentation notamment les céréales et les légumineuses et les fruits (**S. Djemai Zoughlache** 2008), Ils ont la propriété de précipiter les protéines (fongiques ou virales) et les métaux lourds. Ils favorisent la régénération des tissus et la régulation de la circulation veineuse, tonifient la peau dans le cas des rides. Deux groupes de tanins différents aussi bien par leur structure que par leur origine biogénétique sont distingués : les tanins hydrolysables et les tanins vrais. **M. M. R. Kansole**

### 1.3.3.1 classification des tanins :

#### a) Les tanins hydrolysables :

Les tanins hydrolysables sont des esters du glucose et d'acides phénols que sont l'acide gallique (tanins galliques) et l'acide éllagique (tanins éllagiques). Leurs polymères sont appelés des tannoïdes. Ils sont caractéristiques des Angiospermes dicotylédones.

#### b) Les tanins non hydrolysables :

Les tanins vrais, non hydrolysables sont des polymères de flavonols (catéchols) et de proanthocyanidols qui donnent par ébullition avec les acides minéraux dilués des composés insolubles amorphes et de couleurs rouges appelés phlobaphènes ou rouge de tanins. **M. M. R. Kansole**

### 1.3.3.2 Propriétés pharmacologiques des tannins

Plusieurs observations, chez les humains comme chez les animaux de laboratoires suggèrent que les tannins exhibent un large spectre de propriétés pharmaceutiques, thérapeutiques et chimioprotectrices dues à leur propriété antiradicalaire (**Tohge et al., 2005**).

En effet, les tannins protègent contre les toxicités induites par différents agents (hydrogène peroxyde, acétaminophène, extraits contenus dans la fumés du tabac...), contre l'hypercholestérolémie et les changements de la formule sanguine (**ASLOUM H., 1990**). Ils jouent aussi un rôle dans la prévention contre les deux formes de mort cellulaire connues, apoptose et nécrose, diminuant ainsi les dommages causés dans l'ADN lors de ces deux dernières. L'action cytoprotectrice des proanthocyanidines est supérieure à celle des vitamines C, B et bétacarotène (**Ray et al., 2000**).

## 2. Les protéines

Les protéines sont qualifiées dans la mesure où elles sont produites par des cellules dont l'ADN a été modifié par recombinaison génétique. La protéine, synthétisée par une cellule différente de sa cellule d'origine (**MAIRE 1962**), est ainsi dite hétérologue ou recombinante. Au sens large, un système de production adapté à la fabrication d'une protéine recombinante donnée, est un procédé biotechnologique qui s'appuie principalement sur **Le Houérou, (1971)** :

□ l'emploi d'un vecteur d'expression (un plasmide ou un virus), jouant le rôle de transporteur génétique du gène d'intérêt codant pour la protéine recherchée ;

- l'utilisation d'une cellule hôte, chargée d'exécuter les instructions fournies par le gène d'intérêt qui lui est inséré, dans l'objectif de synthétiser la protéine recherchée ;
- une phase de production proprement dite permettant de fabriquer les volumes de protéines souhaités ;
- enfin, une séparation et extraction de la protéine du milieu de culture, suivie par une purification de celle-ci.

Au sens restreint, un système de production de protéines recombinantes est caractérisé par un couple constitué d'un vecteur d'expression et d'un hôte (cellule ou organisme).

Les protéines végétales peuvent à elles seules répondre aux besoins nutritionnels si une alimentation végétale variée est consommée et que les besoins en énergie sont satisfaits (CASTROVIEJO et al., 1990). Les recherches indiquent qu'un assortiment d'aliments végétaux mangés au cours d'une journée peut apporter tous les acides aminés essentiels et assurer une absorption et une utilisation appropriées de l'azote chez des adultes en bonne santé ; par conséquent, il n'est nullement besoin de consommer des protéines complémentaires dans un même repas (FROMENT., 1972).

### 1. Présentation générale sur *l'Atriplex canescence* pursh nutte :

*L'Atriplex* est une plante arbustive, appartenant à la famille des Amaranthaceae qui comprend 1400 espèces, réparties en une centaine de genres. Le genre *Atriplex* comprend environ 417 espèces dans le bassin méditerranéen (LE HOUEROU, 1992). En Afrique du nord, le genre *Atriplex* comprend 15 espèces spontanées et 2 espèces introduites, soit 07 espèces vivaces, 01 bisannuelle et 09 annuelles. Par ailleurs, (MAIRE 1962), a identifié une dizaine d'espèces en Algérie dont les plus répandues sont: *Atriplex halimus* et *Atriplex portulacata*.

#### 1.1. Description morphologique de *l'Atriplex canescence* :

**Embranchement :** Spermaphytes

**Sous embranchement :** Angiospermes

**Classe :** Dicotylédones

**Famille :** *Chénopodiaceae*

**Genre :** *Atriplex*

**Espèce :** *Atriplex canescens*

C'est un arbuste buissonneux de 1 à 3 m de haut, formant des touffes de 1 à 3 m de diamètre. Le port est plus au moins intriqué, les rameaux blanchâtres, les feuilles courtement pétiolées, entières, alternes, linéaires, 16 lancéolées, uninerviées, et grisâtre, de 3 à 5 cm sur 0,3 à 0,5 cm accompagnées de feuilles axillaires plus petites (0,5 à 1,5 sur 0,1 à 0,3 cm) L'inflorescence est dioïque, en épis simples ou paniculés au sommet des rameaux pour les mâles, axillaires ou en épis subterminaux pour les femelles. (Franclet et Le Houérou, 1971 in Maalem, 2002 BOU5700



**Figure 7 :** *Atriplex canescens* pursh nutt (MAIRE 1962),

### 1.2.L'intérêt fourrager de l'*Atriplex* :

Au vu de sa grande résistance à la sécheresse, à la salinité et à l'ensoleillement, les *Atriplex* constituent une réserve fourragère importante, utilisable par les ovins, les caprins et les camélidés (CASTROVIEJO et al., 1990). Sous des précipitations annuelles de 200 à 400 mm, *Atriplex halimus* compte, avec *Atriplex nummularia* et *Atriplex canescens*, parmi les espèces les plus intéressantes, produisant de 2000 à 4000 kg de matière sèche par an et par ha de fourrage riche en protéine (10 à 20 % de la MS) (LE HOUEROU., 1992; BEN AHMED et al., 1996). Cependant, la teneur importante en NaCl du fourrage augmente la consommation en eau des animaux et diminue son appétence, pouvant à terme limiter l'exploitation d'*Atriplex halimus* en tant que plante fourragère dans les régions où l'accès à l'eau est difficile.

### 1.3 .le rôle de l'*atriplex canescens* :

Les plantes du genre *Atriplex* sont des halophytes présentes dans la plupart des régions du globe. Ce sont des plantes qui poussent sur des terrains riches en chlorures et nitrates (terrains salés) (LE HOUEROU., 1992). Ces plantes élèvent leur concentration osmotique à un niveau supérieur à celui du sol et accumulent une grande quantité de sels. Les *Atriplex* semblent actuellement les plantes les mieux adaptées pour stabiliser et augmenter la production fourragère en climat semi-aride et aride. Ils sont susceptibles de mettre en valeur des terres où la végétation naturelle est profondément dégradée et la production agricole très irrégulière; ou encore des terres chargés en sels sur les quelles peu d'espèces peuvent se développer. Leur production fourragère, bien qu'ayant un maximum en fin de printemps, peut être exploitée dans certains milieux presque, toute l'année (FROMENT., 1972).

### 1.4.Propriétés écologiques de l'*Atriplex* :

Les *Atriplex* présentent une bonne tolérance aux conditions défavorables du milieu: l'*Atriplex halimus* L.cv *halimus* supporte des concentrations de chlorure de sodium (NaCl) voisines de celles de l'eau de mer (30 g/l) (ZID et BOUKHERIS., 1977). Cependant, les graines ne sont pas aussi tolérantes au sel au stade germination. En effet, (BELKHODJA et BIDAI 2004) rapportent que la germination des graines d'*Atriplex halimus* des sites de Djelfa et de Senia est inhibée dès que la concentration en NaCl dépasse 5 g/l. L'examen de

la répartition du genre *Atriplex*, montre que la plupart des espèces se situent dans les régions où les précipitations varient entre 200 et 400 mm/an (**FRANCLET et LE HOUEROU., 1971**). L'*Atriplex* supporte des températures minimales de 5 à 10°C (**FROMENT., 1972**) et selon (**H.C.D.S., 1996**) l'*Atriplex halimus* peut supporter jusqu'à -10°C. Selon (**FROMENT 1972**), cette espèce peut s'adapter à des milieux divers. Selon (**KILLIAN 1953**), les *Atriplex* prospèrent dans les sols sableux et limoneux. Pour (**POUGET 1971**), l'espèce *Atriplex halimus* s'accommode à divers types de sols mais selon (**FORMENT 1972**), il préfère les sols limoneux. Par contre l'*Atriplex canescens* se développe mieux dans les sols sableux et argileux (**H.C.D.S., 1996**).

### 1.Objectif de notre travail

L'objectif de notre travail consiste à déterminer le dosage des antioxydants de *Atriplex canescens* purch nutt plantées dans un milieu salin enrichie en cuivre

### 2 . Matériel et Méthodes

#### 2.1. matériel végétal

Le matériel végétal utilisé est composé de graines *d'atriplex canescens* purch nutt récoltées au cours de la période de décembre 2016 dans la région d'El-Bayad, Algerie

L'expérimentation a été menée dans des pots, sont remplis par une quantité de 2280 g de mélange sable et terreau (2 volumes de sable / 1 volume de tourbe). sous une serre en verre au sein de l'atelier agricole situé à Mazagran à 5Km environ de la ville de Mostaganem. Le dispositif expérimental comprend 12 traitements avec 04 répétitions, et l'ensemble constitue 48 pots. Les plantes témoins sont arrosées à l'aide d'une solution nutritive de HOAGLAND (1938). Les plantes 'essais' sont traités avec la solution salin 0.5% et 3 % et cuivre (2000,2500 et 3000) séparé et combinée.

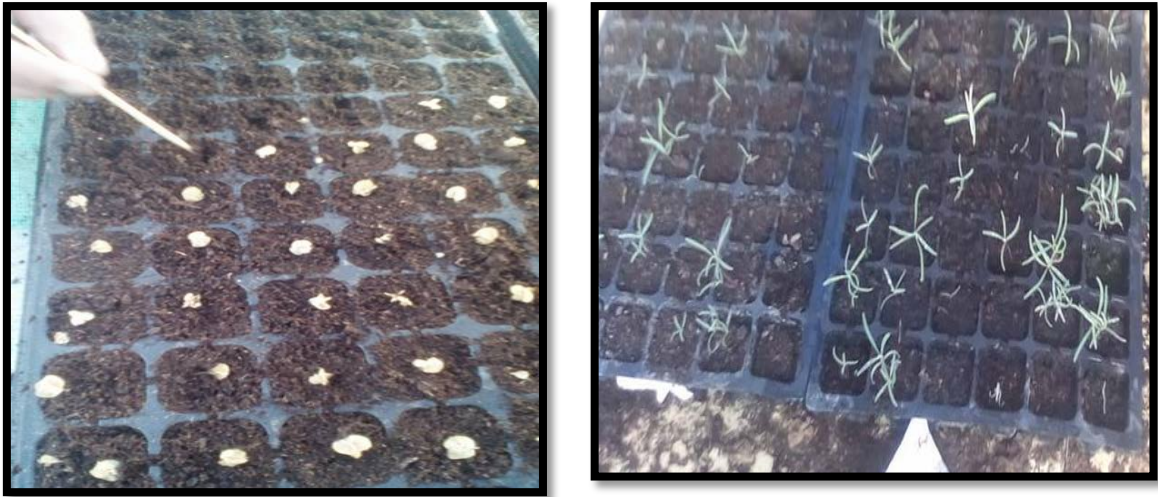
#### 2.2 Méthodes :

##### 2.2.1 Préparation des graines :

Les graines sont désinfectées à l'eau de javel à 8% pendant 5 minutes puis rincées abondamment à l'eau distillée pour éliminer toute trace de chlore. Elles sont ensuite imbibées puis sont mises à germer à moyenne de 10 graines par boîte de Pétrie tapissées de papier filtre dans l'étuve à 25°C pendant 5 à 7jours et arrosées.

##### 2.2.2 Préparation des plantules :

On déplace les graines germées dans des alvéoles remplies de terreau dans laboratoire biodiversité et conservation des eaux et des sols de l'université de Mostaganem, et on les laisse jusqu'au stade plante de cinq à six feuilles.



**Figure 8 :** la germination

### 2.2.3 Préparation du substrat :

Le substrat utilisé dans ce travail est constitué du sable prélevé des dunes au bord de la mer de (Sidi Mansour) et de la tourbe achetée.

Avant d'utiliser le sable, on passe par plusieurs opérations de préparation en commençant par le tamisage pour éliminer les débris végétaux, animaux et toutes les pierres, ensuite, on utilise l'esprit de sel mélangé avec de l'eau pour le lavage, dans le but d'éliminer le sel, et bien sûr on termine par le rinçage avec de l'eau distillée. A la fin de chaque lavage, on prend une petite quantité d'eau de rinçage quelque goutte de nitrate d'argent pour vérifier qu'il y a plus de sels, le sable est ensuite mis à l'air libre pour le séchage.

Après ces préparations, le sable est mélangé à la tourbe (2V/V) et mis dans différents pots à raison de **2Kg** par pot, en respectant la capacité de rétention nécessaire pour chaque plante.



**Figure 9:** le lavage du sable par l'esprit



**Figure. 10 :** le rinçage du sable par l'eau distillée



**Figure. 11:** le séchage du sable

### 2.2.4 Repiquage :

Les plantes des alvéoles âgées de 30 jours sont ensuite repiquées dans des pots en plastique remplis d'un mélange de sable et de terreau (2V/V) à fond tapissé d'une couche de graviers pour assurer le drainage. Les plantes atteignent après deux mois à peu près 45 à 55 cm de hauteur de la partie aérienne



**Figure 12.** :des pots remplis par une couche de gravier



**Figure .13** :des pots remplis par le sable mélangé avec le terreau



**Figure .14:**repiquage les plantes dans les pots

**2.2.5 Préparation de la solution de l'arrosage**

Les plantes sont arrosées par de l'eau distillée deux fois par semaine et par la solution nutritive une fois par semaine, pendant 60 jours jusqu'à l'application du stress.

<b>Solution mère</b>	<b>Poids g/l</b>
<b>Macro-éléments</b>	
<b>KNO<sub>3</sub></b>	<b>191.90</b>
<b>(NO<sub>3</sub>)Ca, 4H<sub>2</sub>O</b>	<b>129.80</b>
<b>NO<sub>3</sub> NH<sub>4</sub></b>	<b>210.00</b>
<b>SO<sub>4</sub> Mg, 7H<sub>2</sub>O</b>	<b>61.50</b>
<b>PO<sub>4</sub> H<sub>2</sub>K</b>	<b>54.40</b>
<b>P<sub>0</sub>4K<sub>2</sub>H, 3H<sub>2</sub>O</b>	<b>34.23</b>
<b>Oligo-éléments</b>	
<b>Cl<sub>2</sub>Mn, 4H<sub>2</sub>O</b>	<b>1.80</b>
<b>CuSO<sub>4</sub>, 5H<sub>2</sub>O</b>	<b>0.176</b>
<b>ZnSO<sub>4</sub>, 7H<sub>2</sub>O</b>	<b>0.219</b>
<b>BO<sub>3</sub>H<sub>3</sub></b>	<b>2.861</b>
<b>MO<sub>7</sub>O<sub>24</sub>(NH<sub>4</sub>), 7H<sub>2</sub>O</b>	<b>0.285</b>
<b>CioHi<sub>2</sub>FeNaOs</b>	<b>0.05</b>

**Tableau 02:** Composition de la solution nutritive de Hoagland (1938).

**2.2.6 Préparation de la solution de stress salin et métallique**

**a) solution salin :** La solution saline est préparée avec le chlorure de sodium (NaCl) à deux dose 0,5% et 3%.

**1) NaCl de 0.5% :**

$$0.5\% \longrightarrow 0,5g$$

$$\left. \begin{array}{l} 0,5 g \longrightarrow 100 \text{ mL} \\ x \longrightarrow 1000 \text{ mL} \end{array} \right\} \longrightarrow X = (1000 \times 0,5) / 100 = 5g /L$$

**2) de NaCl de 3%:**

$$\left. \begin{array}{l} 3 g \longrightarrow 100 \text{ mL} \\ x \longrightarrow 1000 \text{ mL} \end{array} \right\} \longrightarrow X = (1000 \times 3) / 100 = 30g /L$$

**b) solution métallique :**La solution de cuivre utilisé a trois doses (2000, 2500 et 3000 ppm) sous forme de sulfate de cuivre .

**1) Pour 2000 ppm de cuivre :**

$$\left. \begin{array}{l} \text{CuSo}_4.5\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{Cu} \\ 249,60 \text{ m} \longrightarrow 63,54 \text{ m} \\ X \longrightarrow 2g \end{array} \right\} \longrightarrow X = ( 2 \times 249,60) / 63,54 = 7,85g$$

Les doses	→	Sulfat de cuivre SO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O
Cuivre 2000 ppm (2g/L)	→	7,85g
Cuivre 2500 ppm (2g/L)	→	9,82 g
Cuivre 3000 ppm (2g/L)	→	11,78g






































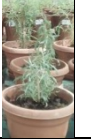










**2.2.7. Applications du stress salin**

Le contrainte saline est appliquée sur les plantes âgées de 03 mois (120 jour) à récent de 100ml de solution stressante par pot.

**2.2.8 Dispositif expérimental :**

Nous avons réalisé cette expérimentation par le biais de 12 traitements, à raison de 4 pots par traitement (4 répétitions) pour l'espèce. *Atriplex canescens* (pursh) nutt.

Le stress est débuté sur la plante âgées de 60 jours de 02/05/2017 jusqu'au 16/05/2017 en respectant la capacité de la rétention (100 ml/par plante).trois fois par semaine, deux fois stress et une fois solution nutritif.

Traitement	Témoin	NaCl 0,5%	NaCl 3%	Cuivre 2000	Cuivre 2500	Cuivre 3000	NaCl 0,5% + Cuivre 2000	NaCl 0,5% + Cuivre 2500	NaCl 0,5% + Cuivre 3000	NaCl 3% + Cuivre 2000	NaCl 3% + Cuivre 2500	NaCl 3% + Cuivre 3000
Répétitions												
1												
2												
3												
4												

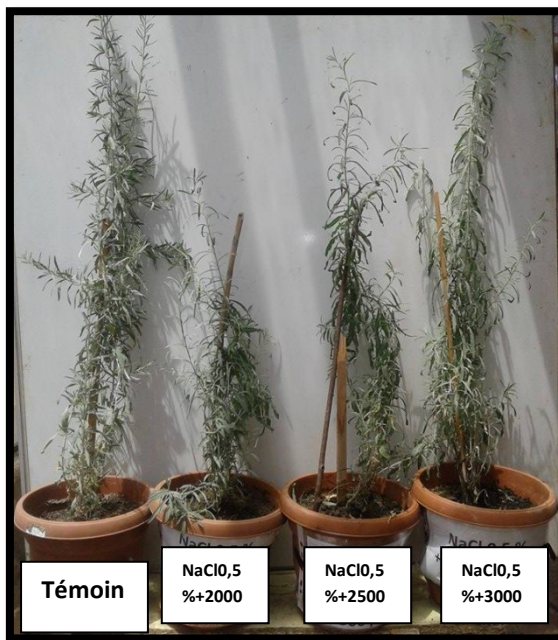


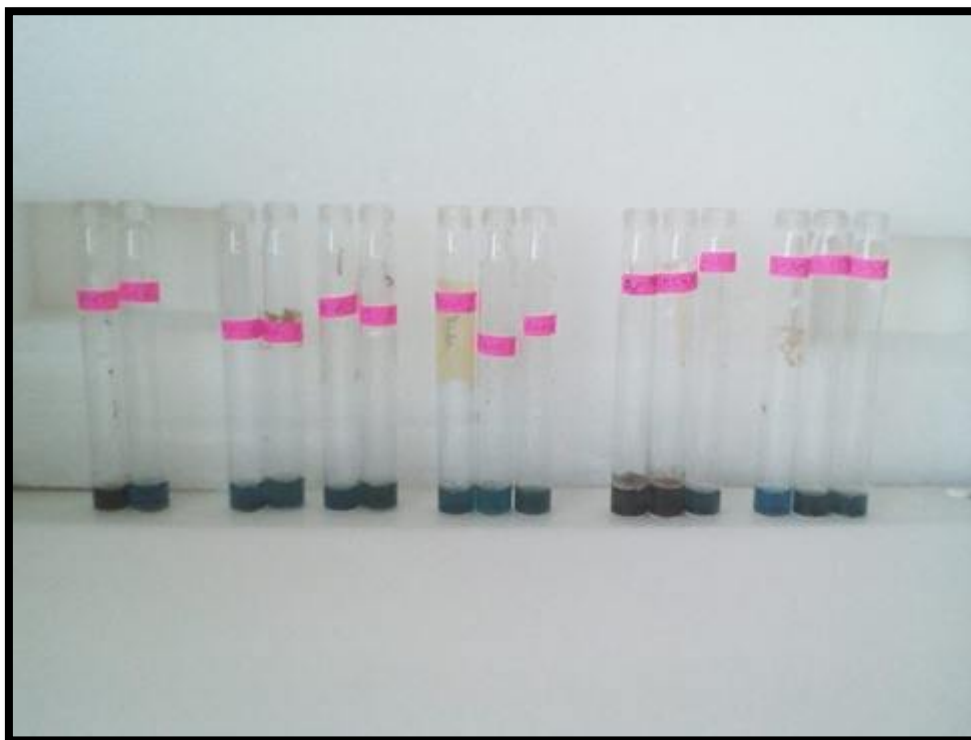
Figure .15: dispositif expérimental des plantes d'*Atriplex canescens* après le stress

### 3.dosages des antioxydants :

#### 3.1. protéines :

1. on prend 100mg de matériel végétale
2. chaque échantillon est broyée avec 5ml d'eau distillée puis filtrée et versé dans un tube à essai contenant 5ml d'eau distillée
3. pour le dosage, on prend 0,2 ml du réactif de Bradford avec 0,2 ml de la solution à analyser et 1,6 ml d'eau distillée
4. bien agiter à vortex
5. le contrôle 0,2ml de l'eau distillée + 0,2 ml de réactif de Bradford + 1,6 ml d'eau distillé
6. après 5 min à une heure , on procède la lecture à 595 nm

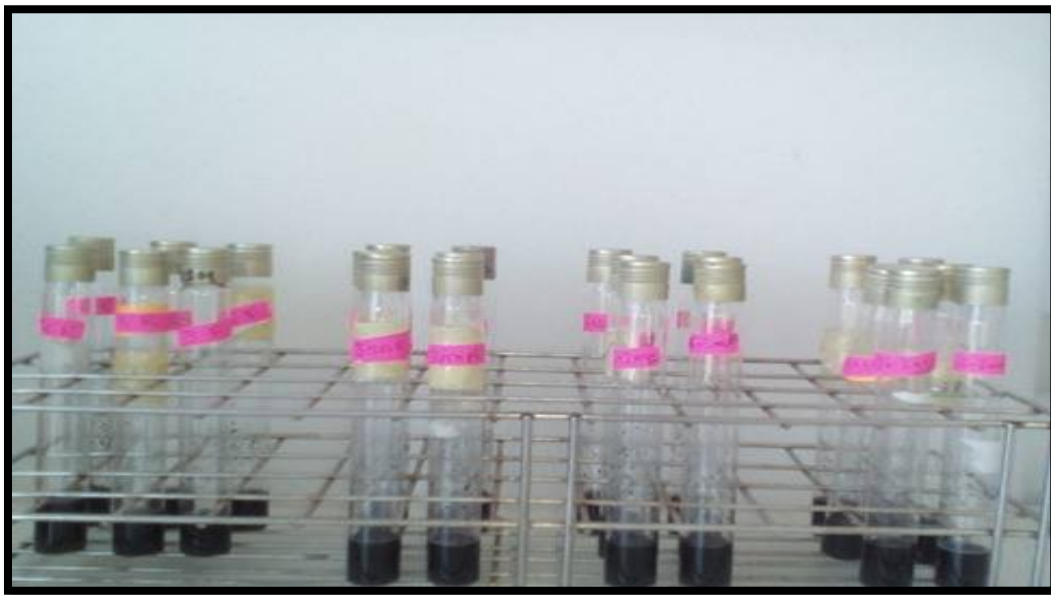
**SALAH H. B. ;(2002)**



**Figure .16:** dosage de protéines

**3.2.polyphénols totaux :**

1 ml de réactif de Folin (10 fois dilué) est ajouté à 200  $\mu$ l d'échantillon ou standard (préparés dans le méthanol) avec des dilutions convenables. Après 4 min, 800  $\mu$ l d'une solution de carbonate de sodium (75 mg/ml) sont additionnés au milieu réactionnel. Après 2 h d'incubation à température ambiante l'absorbance est mesurée à 760 nm. La concentration des polyphénols totaux est calculée à partir de l'équation de régression de la gamme d'étalonnage établie avec l'acide gallique et elle est exprimée en  $\mu$ g d'équivalent d'acide gallique par milligramme d'extrait ( $\mu$ g EAG/mg d'extrait).**Prieto P et al(1999)**



**Figure .17** :dosage de polyphénols totaux

### 3.3. les flavonoïdes :

La méthode du trichlorure d'aluminium est utilisée pour quantifier les flavonoïdes dans les extraits de *Nigella sativa*. À 1 ml d'échantillon ou standard (préparés dans le méthanol) est ajouté 1 ml de la solution d' $\text{AlCl}_3$  (2% dans le méthanol). Après 10 minutes de réaction, l'absorbance est lue à 415 nm. La concentration des flavonoïdes est déduite à partir d'une gamme d'étalonnage établie avec la quercétine et est exprimée en microgramme d'équivalent de quercétine par milligramme d'extrait ( $\mu\text{g EQ/mg}$  d'extrait). Miller N. J et al (1996)

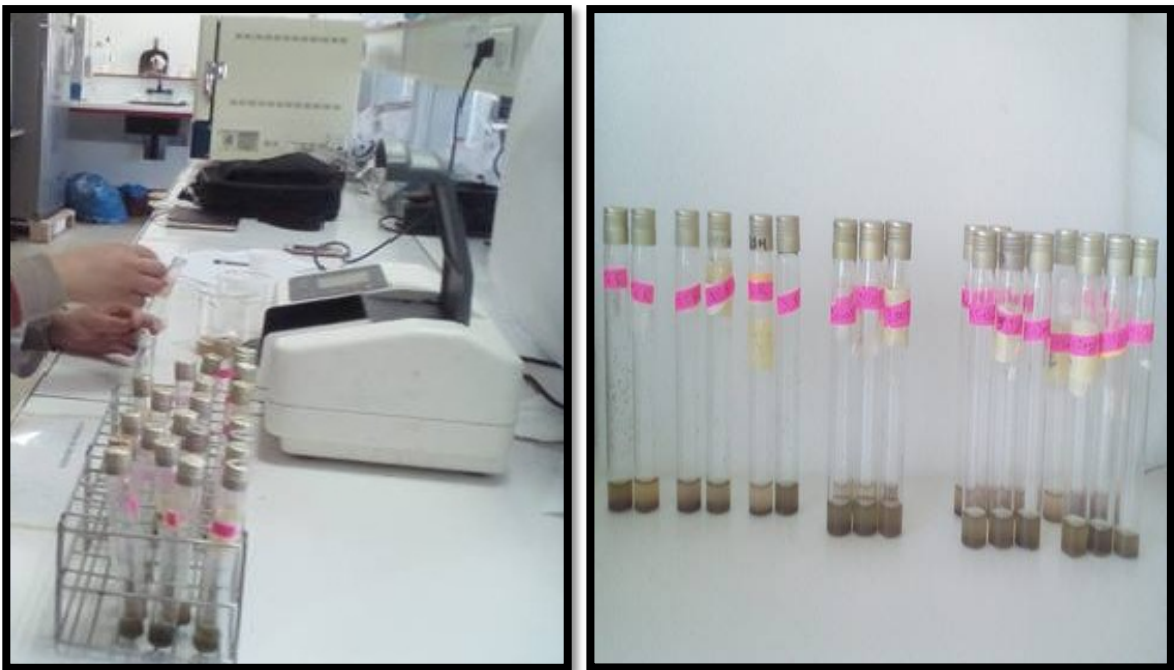
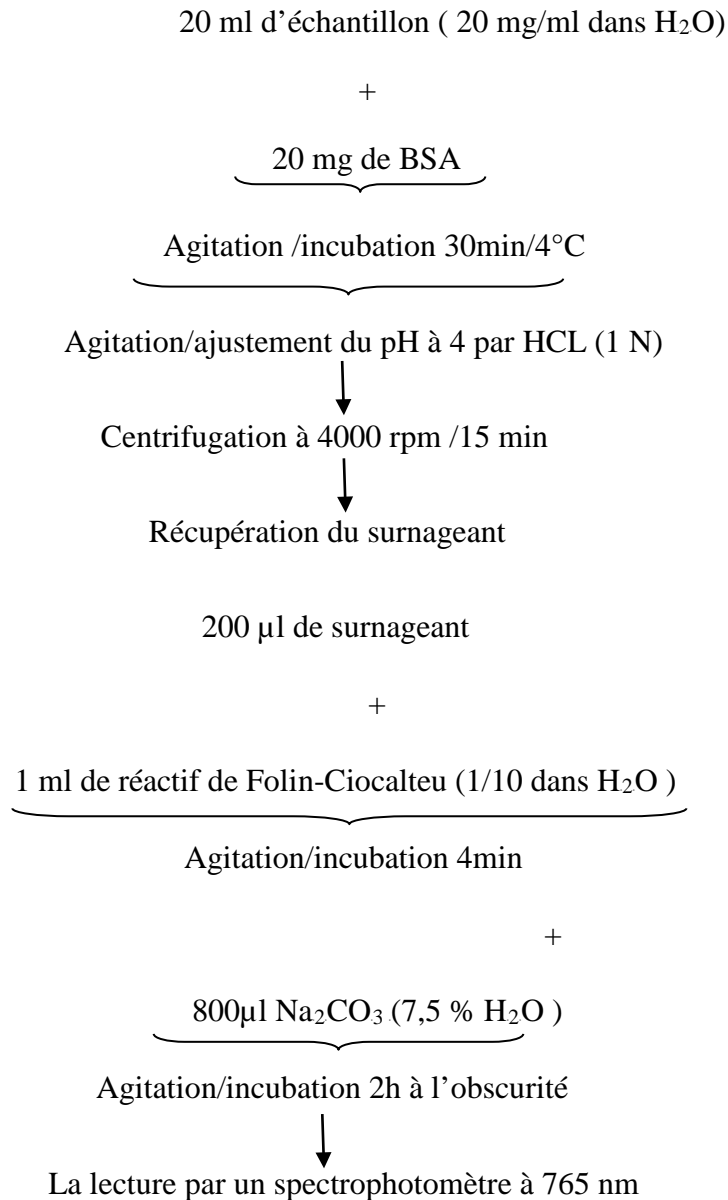


Figure .18 :dosage de flavonoïde

## 3.4.les tanins :

les tanins sont dosées par la procédure de Folin-Ciocalteu après leur précipitation à l'albumine de sérum bovin. les valeurs obtenues sont soustraites de la teneur en polyphénols totaux, et le taux des tanins est exprimé en milligramme d'acide gallique par gramme d'extrait sec. **Kulisic T. et al (2004)**



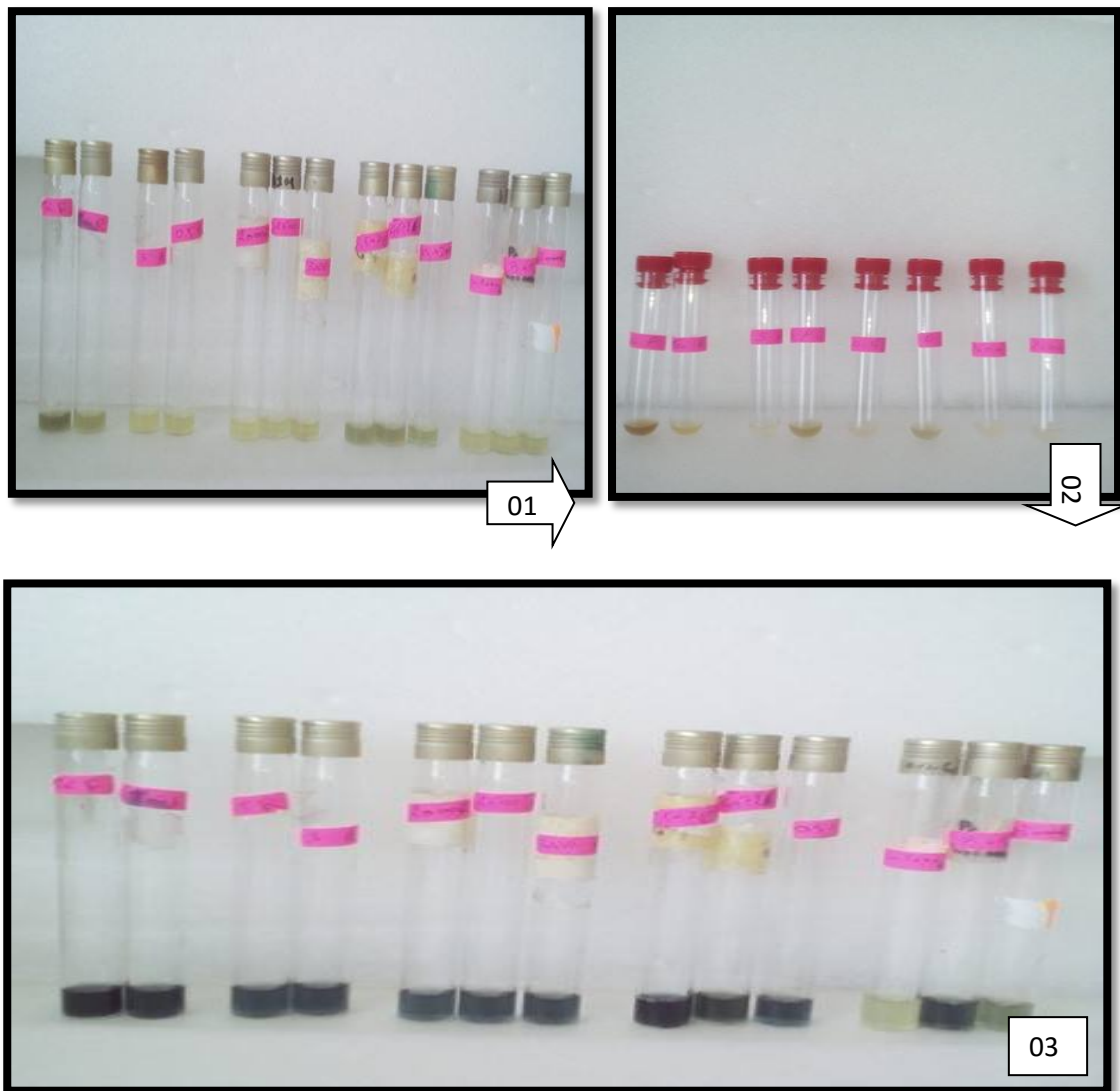


Figure .19 :les étapes de dosage des tanins



# **Matériels et méthodes**



# **Résultat et interprétation**

1.L'effet de sel sur les antioxydants:

a)protéines :

➤ Partie aérienne :

Les résultats montrent qu'il y'a une légère augmentation de protéines chez les plantes stressée par la solution salin NaCl à 0,5%, alors que la quantité de protéine chez le traitement 3% a diminué jusqu'à 141 µg/g MS par rapport aux feuilles de témoins 148 µg/g MS.

➤ Partie racinaire :

Selon la figure 20, on observe diminution remarquable de protéine chez les racines sous traitement de NaCl 3% par rapport les plantes traitées avec NaCl 0,5% et témoins ; les valeurs enregistrés sont 124 et 134 µg/g MS respectivement par rapport les racines des plantes témoins qui enregistre 138 µg/g MS.

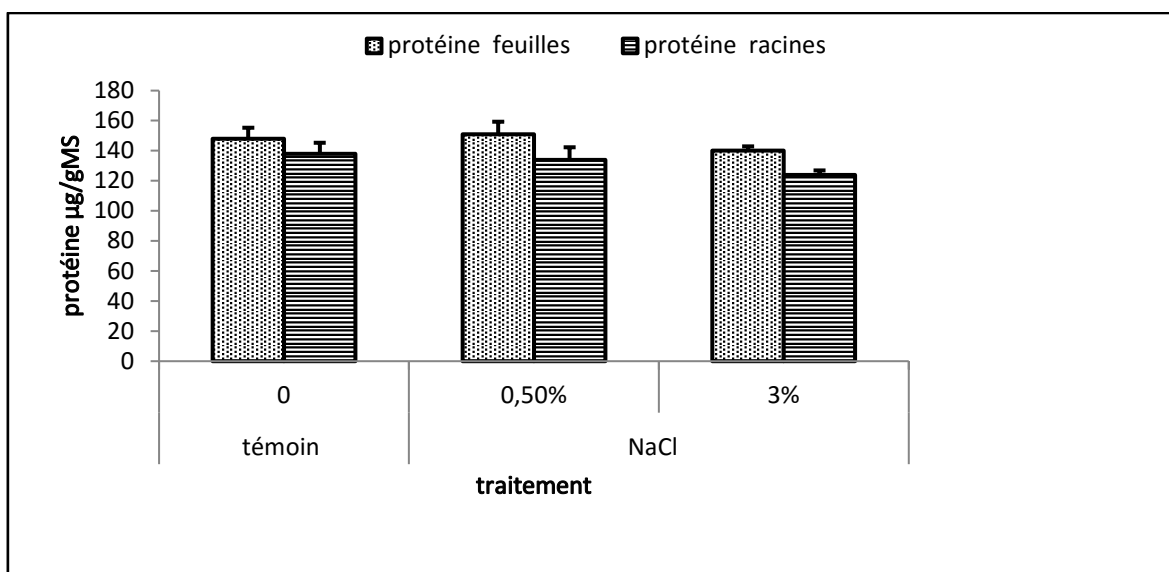


Fig .20: Dosage de protéine sur les feuilles et les racines des plante de *Atriplex canescences* sous les traitements de NaCl

Tableau 3 : Analyse statistique à l'aide du test de Fisher (à p=5%) de dosage de protéine sur les feuilles et les racines de la plante de *Atriplex canescences* sous le traitement de NaCl:

Protéines	traitement	Témoin	NaCl (0,5%)	NaCl(3%)
mg/g MS	Feuilles	148 ± 7,3	151 ± 8,3 NS	140 ± 2,9 NS
	Racines	138 ± 1	134 ± 2,8 HS	124 ± 4,3 HS

Ces résultats indiquent que chez les plantes d'*Atriplex canescens*, les feuilles n'est pas influencée par le dosage de protéines, mais dans les racines elle permis un effet hautement significatif.

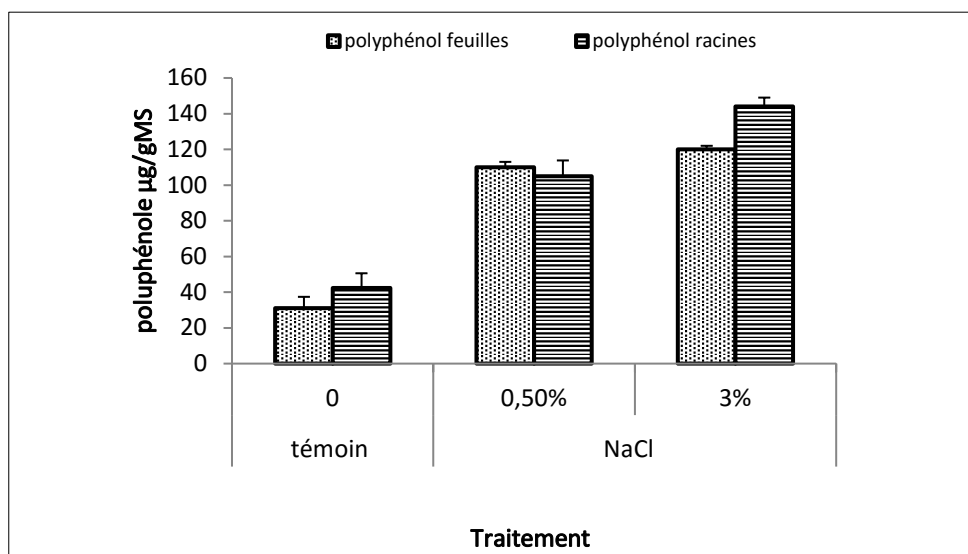
### b) Les polyphénols :

#### ➤ Partie aérienne :

On observe une augmentation progressive de polyphénols au niveau des feuilles sous traitements de NaCl (0,5% ; 3%) par rapport aux témoins, les valeurs sont 31.110.120  $\mu\text{g}/\text{mg}$  (MS) respectivement pour les témoins et le traitement de NaCl 0,5 et 3%

#### ➤ Partie racinaires :

même remarque au niveau des racines , on note aussi que les polyphénols s'accroît beaucoup plus dans les racines sous les traitement de NaCl 0,5 et 3% (105.144  $\mu\text{g}/\text{g}$  MS) comparativement avec les feuilles de témoins (42  $\mu\text{g}/\text{g}$  MS).



**Fig.21** : Dosage de polyphénols sur les feuilles et les racines des plante de *Atriplex canescences* sous traitements Na Cl 0,5 et 3%

**Tableau 4** : Analyse statistique à l'aide du test de Fisher (à  $p=5\%$ ) de dosage de polyphénols sur les feuilles et les racines des plante de *Atriplex canescens* purch nutt sous les traitements de Na Cl 0,5% et 3% :

Polyphénols	Traitement	Témoin	NaCl 0,5%	NaCl(3%)
(µg /gMs)	Feuilles	31 ± 6,4	110 ± 3 HS	120 ± 2 HS
	racines	42,4 ± 8,2	105 ± 8,8 HS	144 ± 5 HS

Ces résultats trouvent leur confirmation dans le test statistique (tableau 4) qui révèlent un effet hautement significatif par rapport aux témoins.

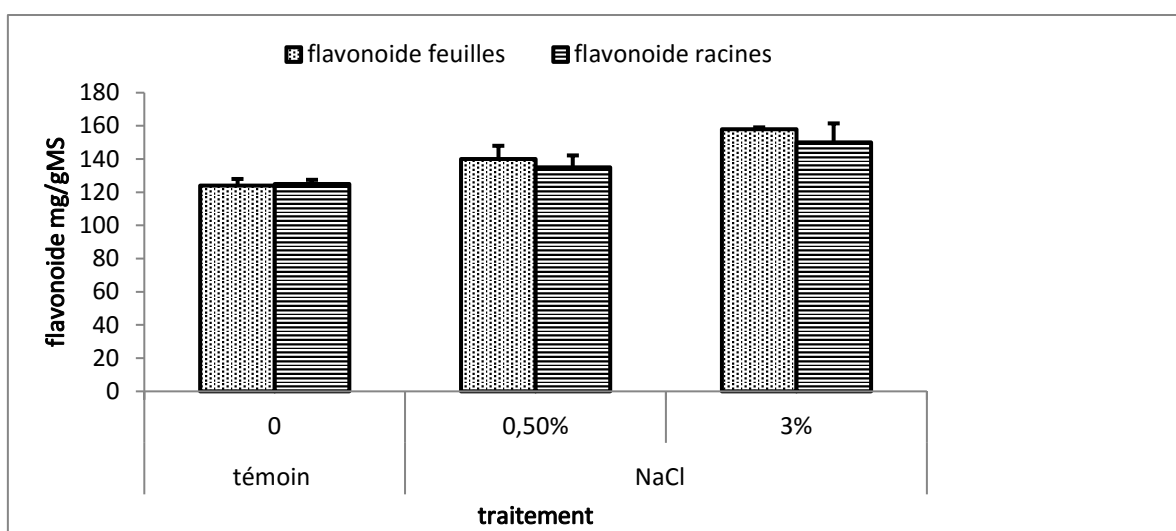
### c -Les flavonoïdes :

#### ➤ Partie aérienne :

La figure 23 montre une augmentation chez les feuilles traitées par le NaCl (0,5% et 3%) avec concentration 140.158 mg /g MS en comparant avec feuilles non traité(mg /g MS).

#### ➤ Partie racinaire :

Chez les racines de la plante stressée par le NaCl à 0,5% et 3% ; le flavonoïde augmente progressivement jusqu'à 135 et 150mg/ml respectivement par rapport plante traitées par la solution nutritive (125 mg /g MS)



**Fig. 23** : dosage de flavonoïde sur les feuilles et les racines des plantes de *Atriplex canescences* sous le traitement de Na Cl.

**Tableau 05** : Analyse statistique à l'aide du test de Fisher (à p=5%) de dosage de flavonoïde sur les feuilles et les racines des plantes de *Atriplex canescences* sous le traitement de NaCl:

Flavonoïde	Traitement	Témoin	NaCl (0,5%)	NaCl(3%)
mg /g MS	Feuilles	124 ± 4	140 ± 8 HS	158 ± 1,1 HS
	Racines	125 ± 2,5	135 ± 7,2 S	150 ± 11,5 S

Les résultats sont vérifiés par le test statistique (tableau 5) à l'aide de l'analyse de la variance au seuil de 0,5 et 3% qui révèlent que chez les plantes d'*Atriplex canescens*, le traitement salin a un effet significatif sur le dosage de flavonoïde dans les racines, et hautement significatif chez les feuilles.

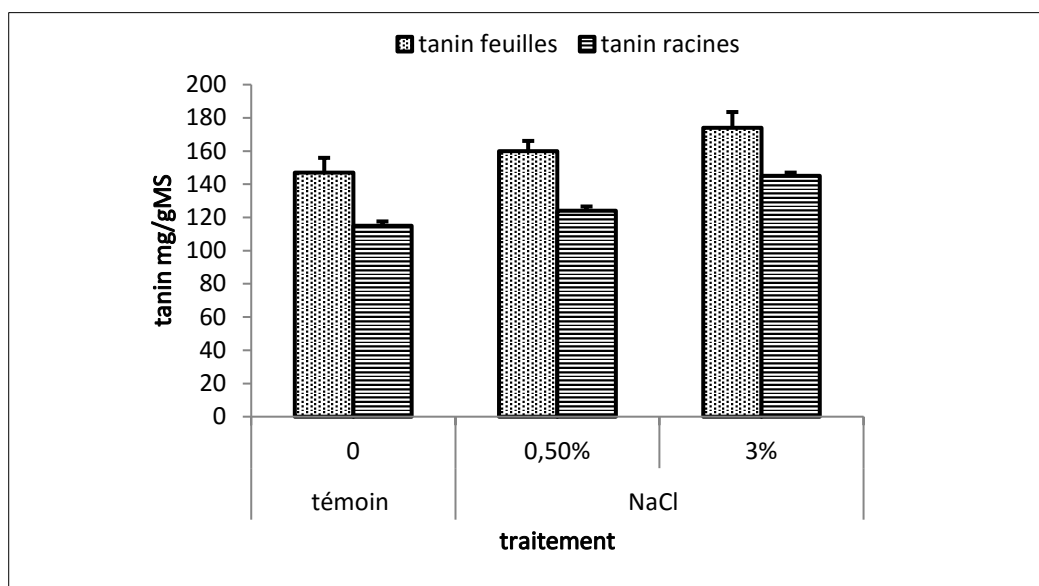
#### d) les tanins :

##### ➤ Partie aérienne :

Chez les feuilles traitées par la solution salin (NaCl 0,5, 3%) les valeurs de tanins montre une augmentation remarquable par rapport les plantes arrosées par la solution nutritive on enregistre une croissance de tanins à 160 et 174 mg/gMS par rapport les feuilles des plantes témoins 147 mg/gMS.

##### ➤ Partie racinaire :

On remarque une forte augmentation de tanin chez les racines traitées par NaCl 3% qui enregistre 145 mg/gMS, en comparants avec les racines sous traitement de NaCl 0,5% qui marque un valeur de 124 ,et on observe chez les racines des plantes témoins une diminution à 20% .



**Fig .23 :** Dosage de tanin sur les feuilles et les racines des plantes de *Atriplex canescences* sous le traitements de NaCl

**Tableau 6** : Analyse statistique à l'aide du test de Fisher (à p=5%) de dosage de tanin sur les feuilles et les racines des plantes de *Atriplex canescences* sous le traitements de NaCl:

Tanins	Traitement	Témoin	NaCl (0,5%)	NaCl(3%)
mg/Gms	Feuilles	147 ± 8,9	160 ± 6,1 S	174 ± 9,5 S
	Racines	115 ± 2,6	124 ± 2,6 HS	145 ± 2 HS

Le test statistique (tableau 6), révèle que le dosage des tanins dans les plantes d'*Atriplex canescens* et effet significatif chez les feuilles et hautement significatif chez les racines

**2.L'effet de cuivre sur les antixydants:**

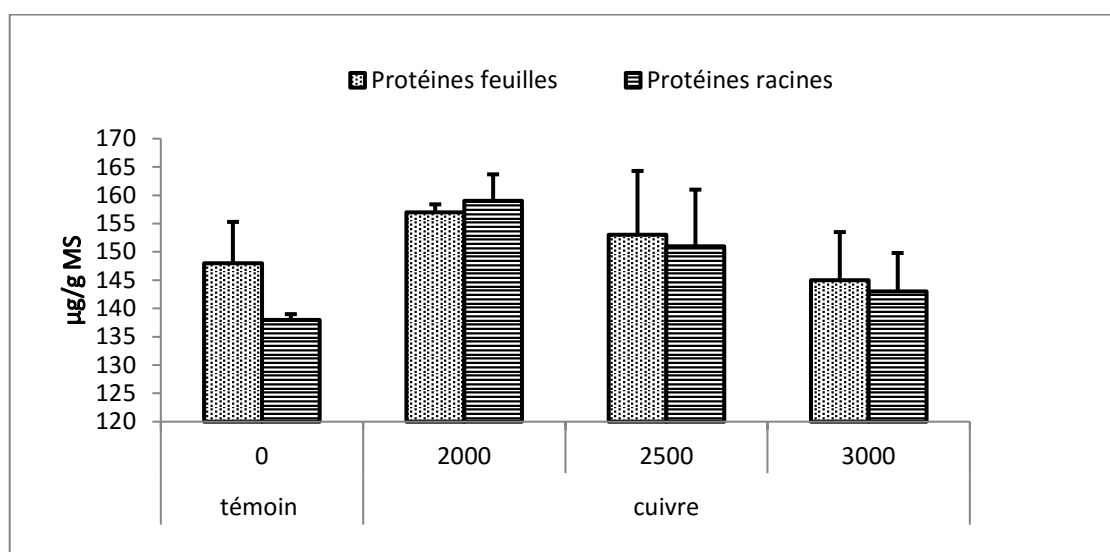
**a) Les protéines :**

➤ Partie aérienne :

La figure 6 montre que le dosage de protéine chez les plantes d'*Atriplex canescens* traitées par le cuivre 3000 ppm a dégradé jusqu'à 145 µg/gMS par rapport les plantes non traitées, cette quantité est relativement stable chez les plantes arrosées à 2000 et 2500 ppm

➤ Partie racinaire :

Les résultats montrent qu'il y'a une augmentation de protéines chez les racines des plantes d'*Atriplex canescens* stressée par la solution métallique 2000, 2500et 3000 ppm par rapport aux feuilles de témoins.



**Fig .24** : Dosage de protéine sur les feuilles et les racines des plante de *Atriplex canescences* sous le traitement de cuivre

**Tableau 7** : Analyse statistique à l'aide du test de Fisher (à p=5%) de dosage de protéine sur les feuilles et les racines des plante de *Atriplex canescences* sous le traitement de cuivre :

protéines	traitement	Témoin	Cuivre 2000	Cuivre 2500	Cuivre 3000
μg/ g MS	Feuilles	148 ± 7,3	157 ± 1,4 NS	153 ± 11,3 NS	145 ± 8,5 S
	racines	138 ± 1	159 ± 4,7 NS	151 ± 10 NS	143 ± 6,8 S

L'analyse statistique à l'aide de Test de Fisher à p=5%, montre un effet non significatif chez les feuilles, et les racines sous traitement de cuivre 2000 et 2500 ppm

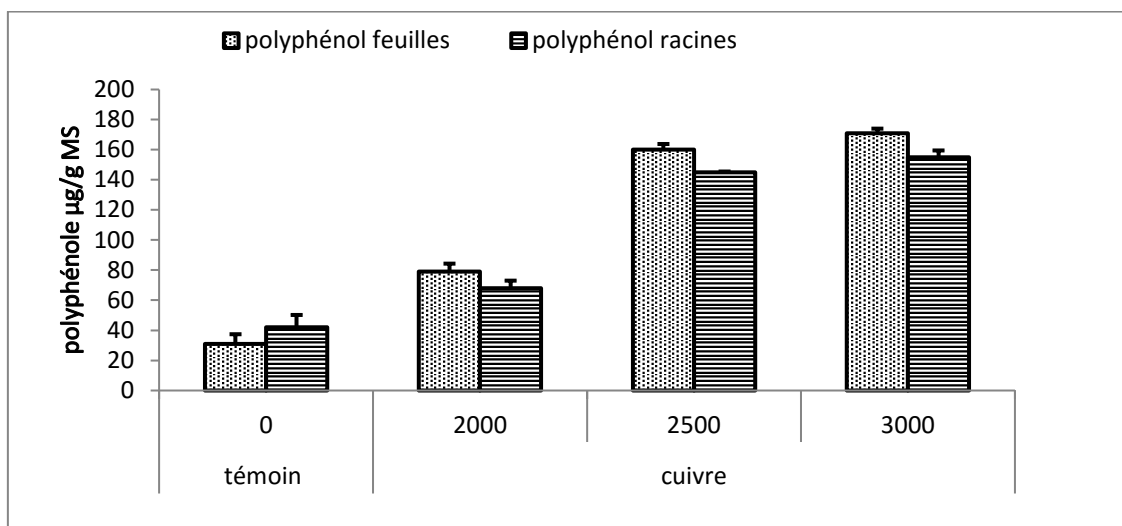
### b) polyphénols :

#### ➤ Partie aérienne :

Les polyphénols augmentent progressivement au niveau des feuilles sous le traitement de cuivre (2500 ; 3000 ppm), par rapport aux plante témoins, les valeur enregistrés 160.171. μg/g MS chez les feuilles traitées, et pour les feuilles de témoin les valeurs sont 31μg/g MS, on remarque une faibles augmentation de polyphénol ( 71 μg/g MS) chez les plantes sous traitement de 2000 ppm.

#### ➤ Partie racinaires :

Au niveau des racines, le taux de polyphénols s'accrois sous traitement de cuivre 2500 et 3000 ppm ,les valeurs enregistrés sont de 145.155 μg/g MS respectivement, cet valeur est diminué clairement chez les racines des plantes témoins qui marque un valeur de 42 μg/g MS, les plantes sous stress métallique de 2000 ppm les valeurs enregistrés sont 68μg/gMS



**Fig .25 :** Dosage de polyphénols sur les feuilles et les racines des plante de *Atriplex canescences* sous le traitement de cuivre

**Tableau 8 :** Analyse statistique à l'aide du test de Fisher (à p=5%) de dosage de polyphénols sur les feuilles et les racines des plante de *Atriplex canescences* sous le traitement de cuivre :

polyphénols	Traitement	Témoin	Cuivre 2000	Cuivre 2500	Cuivre 3000
μg/ g MS	Feuilles	31 ± 6,	79 ± 5,3 NS	160 ± 3,8 HS	171± 3 HS
	racines	42,4 ± 8,2	68 ± 5 NS	145 ± 0,5 HS	155 ± 4,5 HS

L'analyse statistique indique un effet non significatif chez les feuilles et les racines de plantes stressées par les cuivre 2000 ppm. Et pour les plantes stressées par le cuivre 2500 et 3000 ppm montre un effet hautement significatif par rapport les plantes témoins

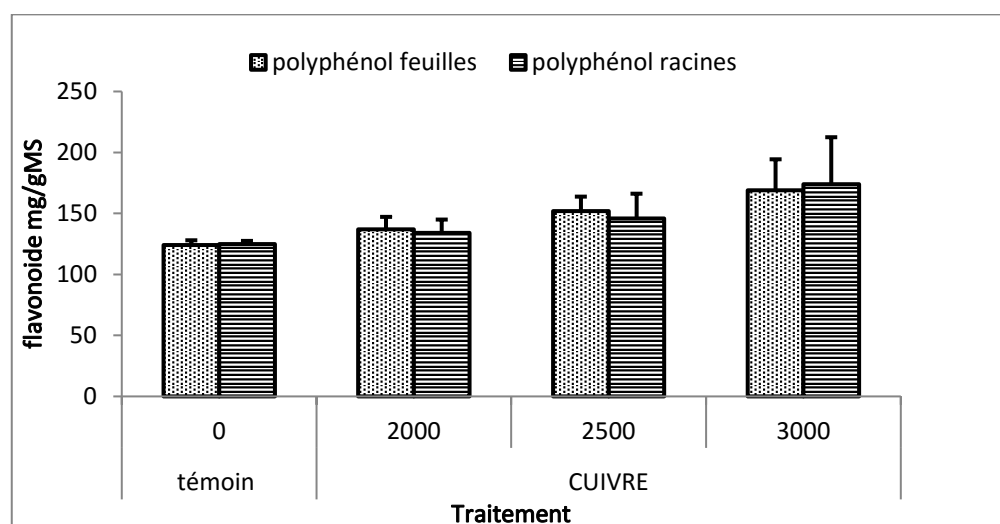
### c) flavonoïdes :

#### ➤ Partie aérienne :

Au niveau des feuilles , le taux de flavonoïde passe de 124 de mg/gMS dans les plantes témoins à 137 et 152 puis 169 de mg/gMS, respectivement dans les feuilles des plantes traitées à 2000,2500,et 3000 ppm.

#### ➤ Partie racinaire :

Les valeurs enregistrées pour les quantités de flavonoïde au niveau des racines ont tendance à augmenter également en fonction du niveau de concentration de cuivre. Le taux de flavonoïde passe de 125 mg/gMS pour les plantes non stressées à 134 mg/gMS pour celles traitées à 2000ppm, puis à 146 et 174 mg/gMS de cuivre 2500 et 3000 ppm



**Fig .26:** dosage de flavonoïde sur les feuilles et les racines des plantes de *Atriplex canescences* sous le traitement de cuivre.

**Tableau 9** : Analyse statistique à l'aide du test de Fisher (à p=5%) de dosage de flavonoïde sur les feuilles et les racines des plantes de *Atriplex canescences* sous le traitement de cuivre :

Flavonoïde	Traitement	Témoin	Cuivre 2000	Cuivre 2500	Cuivre 3000
mg/gMS	Feuilles	124 ± 4	137 ± 10,2 NS	152 ± 11,8 NS	169 ± 25,4 NS
	Racines	125 ± 2,5	134 ± 11 HS	146 ± 20,2 HS	174 ± 38,5 HS

Ces résultats, vérifiés par le test statistique (tableau 9), montrent que le cuivre ne présente pas d'effet significatif sur le dosage de flavonoïde dans les feuilles, au contraire dans chez les racines, il permis un effet hautement significatif dans les racines.

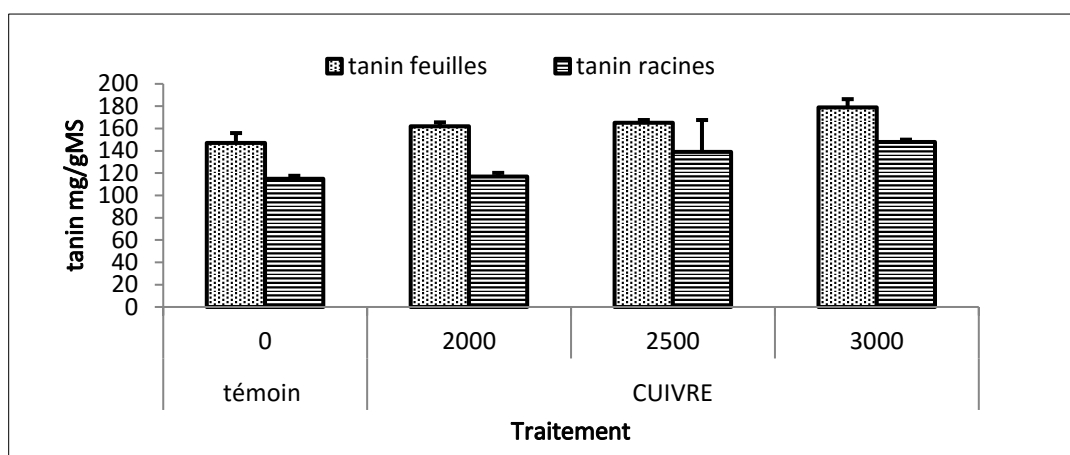
### d) les tanins :

#### ➤ Partie aérienne :

La figure (27) montre que pour les plantes d'*Atriplex canescens* ,traitées par le cuivre 2000.2500.3000 ppm le taux des tanins augmente à 162.169.175 mg/g MS respectivement par rapport aux feuilles de témoins 147 mg/g MS

#### ➤ Partie racinaire :

Au niveau des racines , le taux de tanins passe 115 mg/ml dans les plantes témoins à 117 . 139.puis 149 mg/g MS, respectivement dans les racines des plantes traitées à 2000.2500 et 3000 ppm



**Fig .27** : Dosage de tanin sur les feuilles et les racines des plantes de *Atriplex canescences* sous le traitement de cuivre

**Tableau 10** : Analyse statistique à l'aide du test de Fisher (à  $p=5\%$ ) de dosage de tanin sur les feuilles et les racines des plantes de l'*Atriplex canescences* sous les traitements de cuivre :

tanins	Traitement	Témoin	Cuivre 2000	Cuivre 2500	Cuivre 3000
mg/ g MS	Feuilles	147 ± 8,9	162 ± 3,5 S	165 ± 2,6 S	179 ± 7,3 S
	Racines	115 ± 2,6	117 ± 3,2 NS	139 ± 28 S	148 ± 2 S

Par ailleurs, les résultats du tableau 10 indiquent que le cuivre a un effet significatif sur le dosage des tanins, particulièrement chez les feuilles. Par contre a un effet hautement significatif au niveau des racines.

### 3. l'effet de sel (0,5%) combinée avec le cuivre :

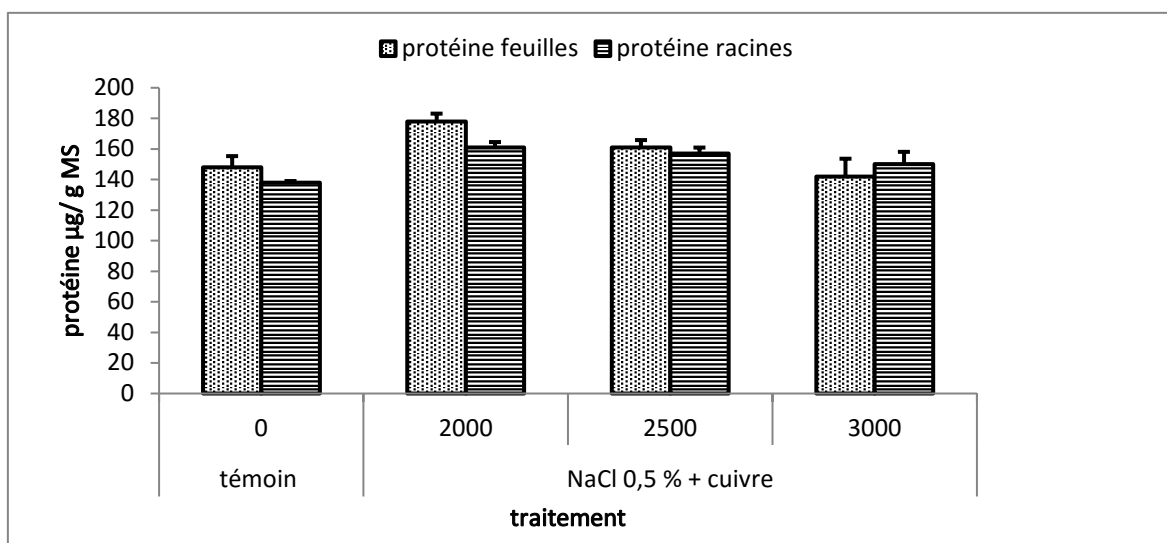
#### a)protéines :

##### ➤ Partie aérienne :

La figure 27 indique que chez les plantes d'*Atriplex canescens*. le dosage de protéine 148  $\mu\text{g/g MS}$  concerne les plantes témoins. En revanche, une réduction de ce paramètre est provoquée par le stress métallique 178.163 puis 142  $\mu\text{g/ g MS}$  respectivement pour les plantes traitées par le cuivre 2000.2500.2000 ppm avec NaCl 0,5%

##### ➤ racinaire :

Dans les racines les protéines augmentent sous traitement cuivre 2000,2500, et 3000 ppm combiné avec le NaCl 0,5% à des valeurs 161.157.150  $\mu\text{g/ g MS}$ , en comparant avec les racines de témoins



**Fig.28** : dosage de protéine sur les feuilles et les racines des plantes de l'*Atriplex canescences* sous les traitement combiné de cuivre + le NaCl(0,5%).

**Tableau 11** : Analyse statistique à l'aide du test de Fisher (à p=5%) de dosage de protéine sur les feuilles et les racines des plante de *Atriplex canescences* sous les traitement combiné de NaCl(0,5%)+le cuivre :

Protéines	Traitement	Témoin	NaCl (0,5%) + Cuivre 2000	NaCl (0,5%) + Cuivre 2500	NaCl (0,5%) + Cuivre 3000
μg/g MS	Feuilles	148 ± 7,3	178 ± 5,1 HS	161 ± 4,8 HS	142 ± 11,6 NS
	Racines	138 ± 1	161 ± 3,5 HS	157 ± 3,9 HS	150 ± 8,1 HS

L'analyse statistique du tableau 8 chez *Atriplex canescens* montre l'existence d'un effet hautement significatif des plantes traitées par le NaCl 0,5% combiné avec le cuivre.les plantes stressés par le cuivre 3000 + 0,5% NaCl indique un effet non significatif chez les feuilles.

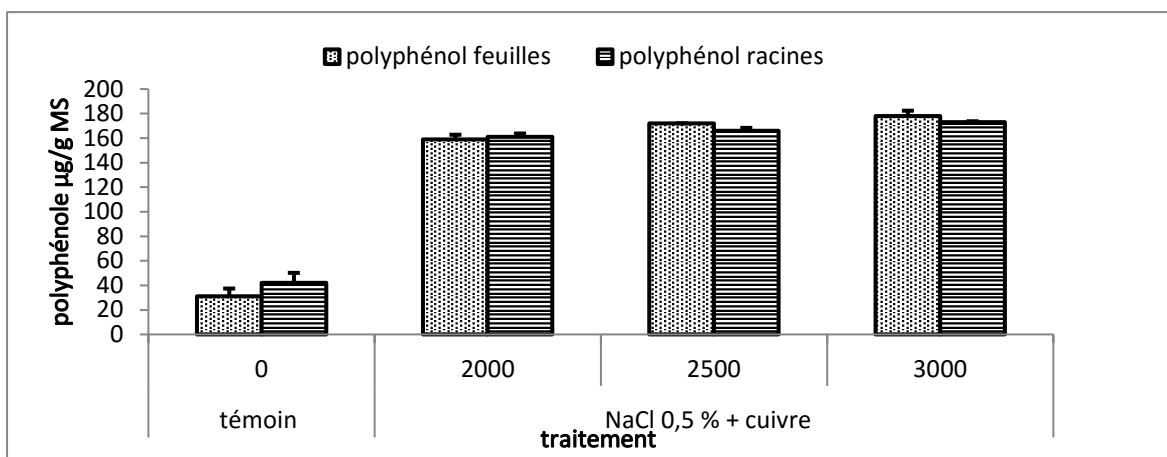
### b) polyphénole :

#### ➤ Partie aérienne :

On note que le polyphénol augmente plus rapide dans les feuilles stressées par le cuivre (2000, 2500, et 3000 ppm) + le Na Cl 0,5% à des valeurs 152.172.179 μg/g MS respectivement, que les feuilles de témoin 31 μg/g MS.

#### ➤ Partie racinaire :

Sous le traitement combiné de cuivre (2000 ,2500 ,3000 ppm) +Na Cl 0,5 on observe une stabilité de taux de polyphénols dans les racines à des concentrations 161.166.173 μg/g MS. Cependant dans les racines de témoin le taux de polyphénols est diminué à 42μg/g MS.



**Fig .29:** dosage de polyphénols sur les feuilles et les racines des plantes de *Atriplex canescences* sous le traitement combiné de cuivre +Na Cl (0,5%).

**Tableau 12 :** Analyse statistique à l'aide du test de Fisher (à p=5%) de dosage de polyphénols sur les feuilles et les racines des plante de *Atriplex canescences* sous les traitement combiné de cuivre +Na Cl (0,5%).:

polyphénols	Traitement	Témoin	NaCl (0,5%) + Cuivre 2000	NaCl (0,5%) + Cuivre 2500	NaCl (0,5%) + Cuivre 3000
µg/g MS	Feuilles	31 ± 6,4	159 ± 3,8 HS	172 ± 0,12 HS	178 ± 4,4 HS
	Racines	42,4 ± 8,2	161 ± 2,8 HS	166 ± 2,4 HS	173 ± 0,78 HS

Les calculs statistique de tableau de l'effet combinée du stress métallique (cuivre), et salin (NaCl) ont donné des résultats hautement significatifs

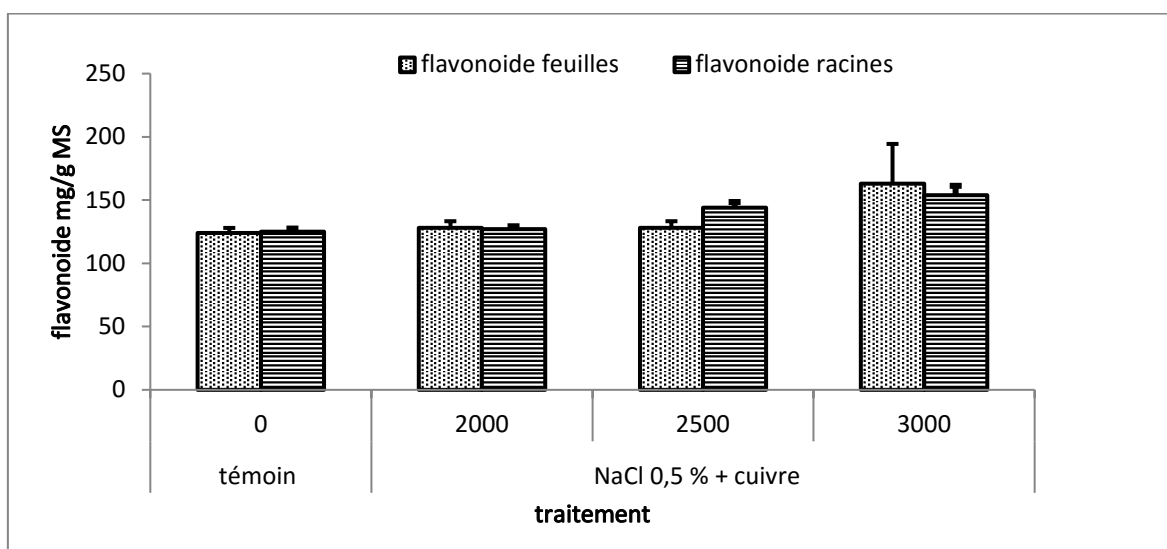
### c)flavonoïde :

#### ➤ Partie aérienne :

Selon la figure 29, les flavonoïdes s'accroît dans les feuilles traitées par le cuivre à 3000 à 163 mg /g MS+ le sel 0,5% comparativement avec les feuilles traitées par le cuivre à 2000 ,2500 ppm +NaCl 0,5% qui enregistre la même quantité de flavonoïdes (128 mg /g MS). Par rapport les plantes témoins qui marque 124 mg /g MS

➤ Partie racinaire :

Les racines de la plante stressée par le cuivre (2500, 3000 ppm) +NaCl 0,5% montres une augmentation 144.154 mg /g MS, proche aux racines de témoin 125 mg /g MS, et ont une faible croissance par rapport aux racines de la plante arrosées par le cuivre+ le sel de 0,5% de 2000 ppm à 127 mg /g MS



**Fig .30** : dosage de flavonoïde sur les feuilles et les racines des plantes de *Atriplex canescens* sous le traitement combiné de cuivre +Na Cl (0,5%).

**Tableau 13** : Analyse statistique à l'aide du test de Fisher (à p=5%) de dosage de flavonoïde sur les feuilles et les racines des plantes de *Atriplex canescens* sous le traitement combiné de cuivre +Na Cl (0,5%).:

flavonoid	traitement	Témoin	NaCl (0,5%) + Cuivre 2000	NaCl (0,5%) + Cuivre 2500	NaCl (0,5%) + Cuivre 3000
Mg/g MS	Feuilles	124 ± 4	128 ± 5,3 NS	128 ± 5,3 NS	163 ± 31,4 NS
	racines	125 ± 2,5	127 ± 2,3 HS	144 ± 4,5 HS	154 ± 7,3 HS

L'étude statistique (tableau13) de l'effet combiné du stress métallique (cuivre) et salin (NaCl 0,5%) nous a permis de voir un effet non significatif pour les feuilles, mais un effet hautement significatif pour les racines.

d)tanins :

➤ Partie aérienne :

La figure 30 montre une augmentation des tanins dans les feuilles des plantes traitées par le cuivre à 2000.2500.et 3000 ppm avec la solution saline à 0,5% avec concentration 126.150.165 mg/g MS , en comparant avec les feuilles de témoin 147mg/g MS.

➤ Partie racinaire :

Les résultats montrent une légère augmentation chez les racines soumises par le cuivre à 2000 ppm 97 mg/g MS combiné avec le sel, comparativement aux racines stressées par le le cuivre à 2500, 3000 ppm avec NaCl :119. 128 mg/g MS. qui sont proches aux racines de témoin 115 mg/g MS.

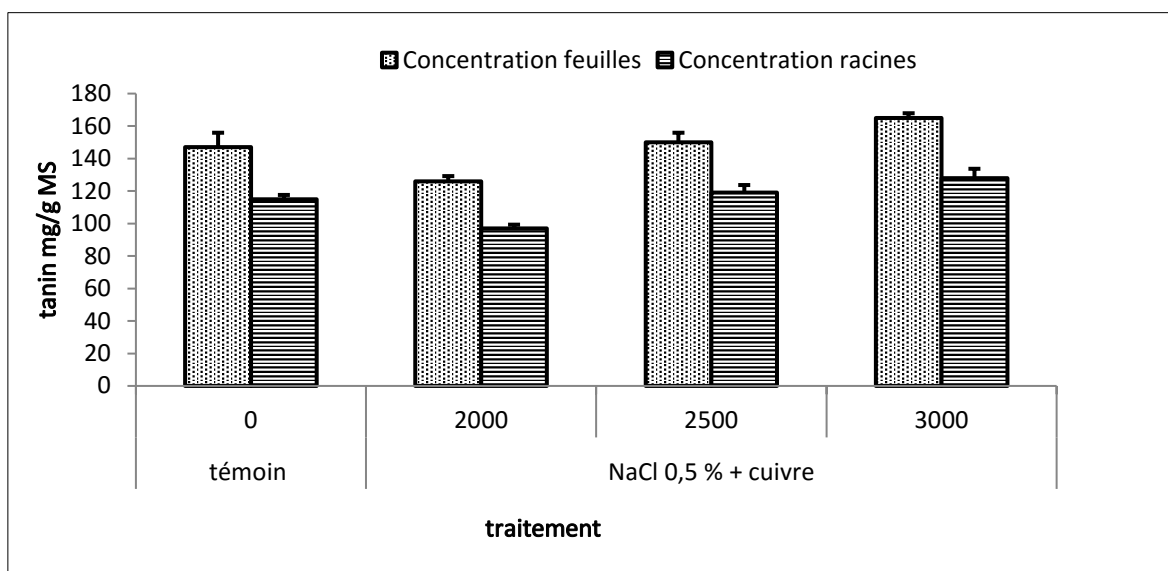


Fig .31: dosage de tanin sur les feuilles et les racines des plantes de l'Atriplex canescences sous les traitement combiné de le cuivre. +NaCl(0,5%)

Tableau 14 : Analyse statistique à l'aide du test de Fisher (à p=5%) de dosage de tanin sur les feuilles et les racines des plante de l'Atriplex canescences sous les traitement combiné de le cuivre +NaCl(0,5%):

Tanins	Traitemen t	Témoin	NaCl (0,5%) + Cuivre 2000	NaCl (0,5%) + Cuivre 2500	NaCl (0,5%) + Cuivre 3000
Mg/g MS	Feuilles	147 ±8,9	126 ± 3,2 HS	150 ± 5,9 HS	165 ± 2,9 HS
	Racines	115± 2,6	97 ± 2,3 HS	119 ± 4,7 HS	128 ± 5,7 HS

L'étude statistique a montré clairement un effet hautement significatif de dosage des tanins par rapport aux plantes témoins.

4) l'effet de NaCl (3%) combinée avec le cuivre :

a)protéine :

➤ Partie aérienne :

Chez les plantes d'*Atriplex canescens*, le régime salin 3% combiné avec le cuivre 2500 et 3000 ppm se traduit par une diminution de dosage de protéine 138.118 µg/gMS par rapport aux plantes témoins 148µg. tandis que sous les stress NaCl + le cuivre 2000 le protéines augmente en comparants aux feuilles témoins

➤ Partie racinaire :

Les résultats montrent une augmentation des protéines dans les racines de la plante soumit au NaCl 3% + le cuivre 2000, 2500, et 3000 ppm( 149.141 .139 µg/gMS) en comparant avec les racines de témoin.

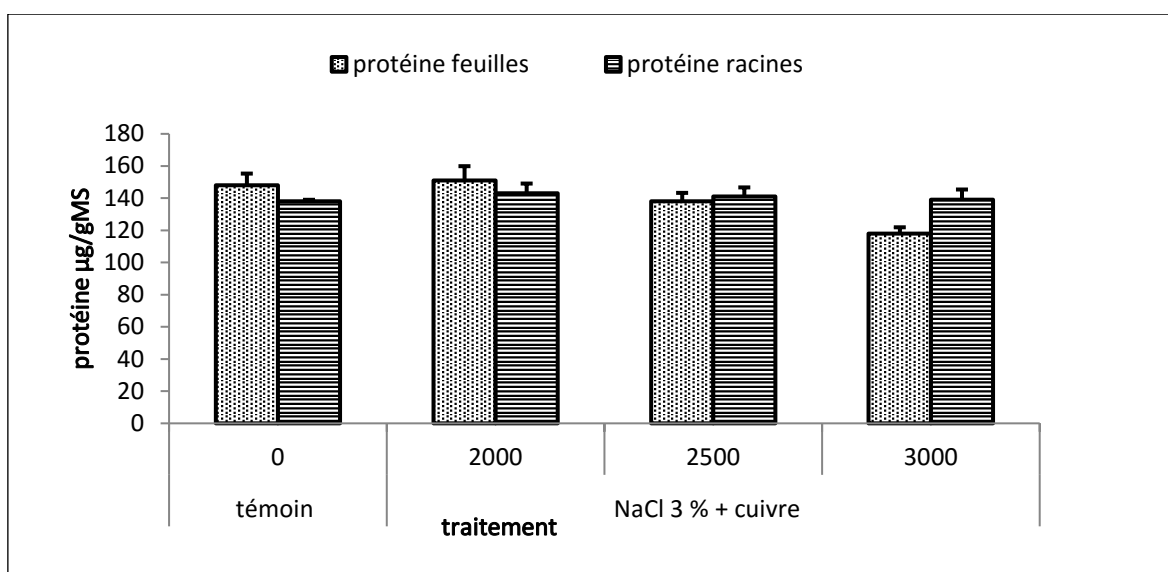


Fig .32 : dosage de protéine sur les feuilles et les racines des plantes de *Atriplex canescences* sous les traitement combiné de NaCl(3%) +le cuivre.

Tableau15 : Analyse statistique à l'aide du test de Fisher (à p=5%) de dosage de protéine sur les feuilles et les racines des plante de *Atriplex canescences* sous les traitement combiné de NaCl(3%)+le cuivre :

Protéines	Traitement	Témoin	NaCl (3%) + Cuivre 2000	NaCl (3%) + Cuivre 2500	NaCl (03%) + Cuivre 3000
µg/g MS	Feuilles	148 ± 7,3	151 ± 8,9 HS	138 ± 5,3 HS	118 ± 3,9 HS
	Racines	138 ± 1	143 ± 6,1 NS	141 ± 5,7 NS	139 ± 6,4 NS

L'analyse de la variance pour les traitements combinés (NaCl à 3% + le cuivre) de dosage de protéines, montre un effet hautement significatif dans les feuilles, par contre un effet non significatif dans les racines.

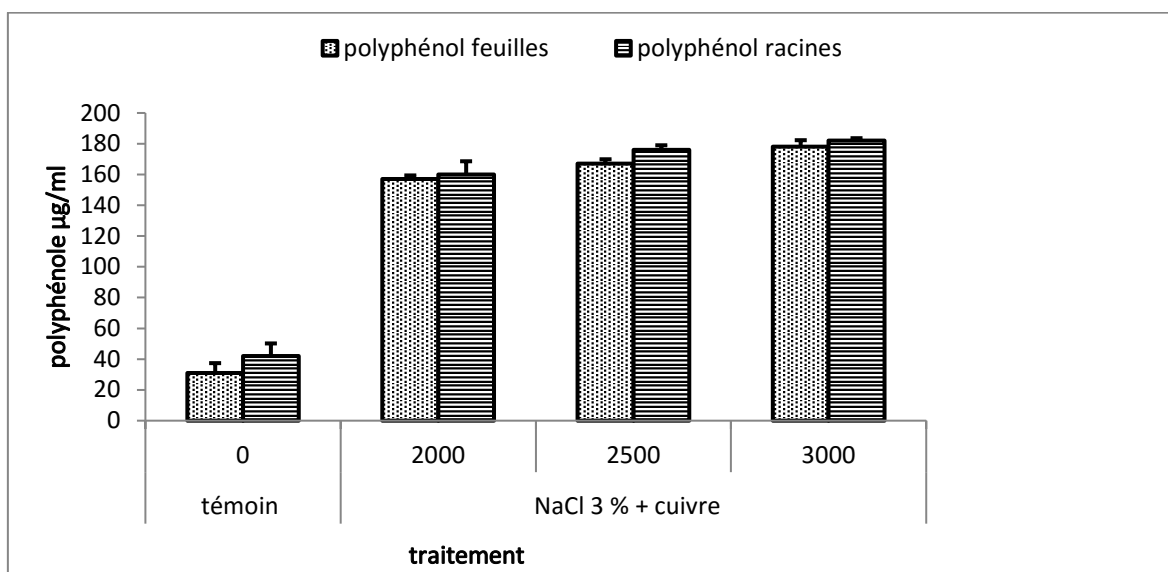
### b) polyphénole :

#### ➤ Partie aérienne :

A partir de la figure 33, on remarque une augmentation dépasse le double dans les feuilles stressé par le cuivre avec le sel, comparativement dans les feuilles de témoin.

#### ➤ Partie racinaire :

Au niveau des racines, il y'a une hausse remarquable en polyphénols soumise au cuivre (2000 ,2500 ,3000 ppm)+ Na Cl 3% ,160.176.183 mg/g MS et une baisse de croissance en polyphénols dans les racines de témoin.



**Fig .33** : dosage de polyphénols sur les feuilles et les racines des plantes de *Atriplex canescences* sous le traitement combiné de le cuivre +Na Cl (3%).

**Tableau 16** : Analyse statistique à l'aide du test de Fisher (à p=5%) de dosage de polyphénols sur les feuilles et les racines des plante de *Atriplex canescences* sous les traitement combiné de le cuivre + Na Cl (3%):

polyohénols	Traitement	Témoin	NaCl (3%) + Cuivre 2000	NaCl (3%) + Cuivre 2500	NaCl (3%) + Cuivre 3000
μg/gMS	Feuilles	31 ± 6,4	157 ± 2,4 HS	167 ± 2,9 HS	178 ± 4,3 HS
	racines	42,4 ± 8,2	160 ± 8,6 HS	176 ± 3 HS	182 ± 1,6 HS

Les résultats statistique nous ont permis de déceler un effet hautement significatif entre les traitement combiné ( salins à 3% et le cuivre).

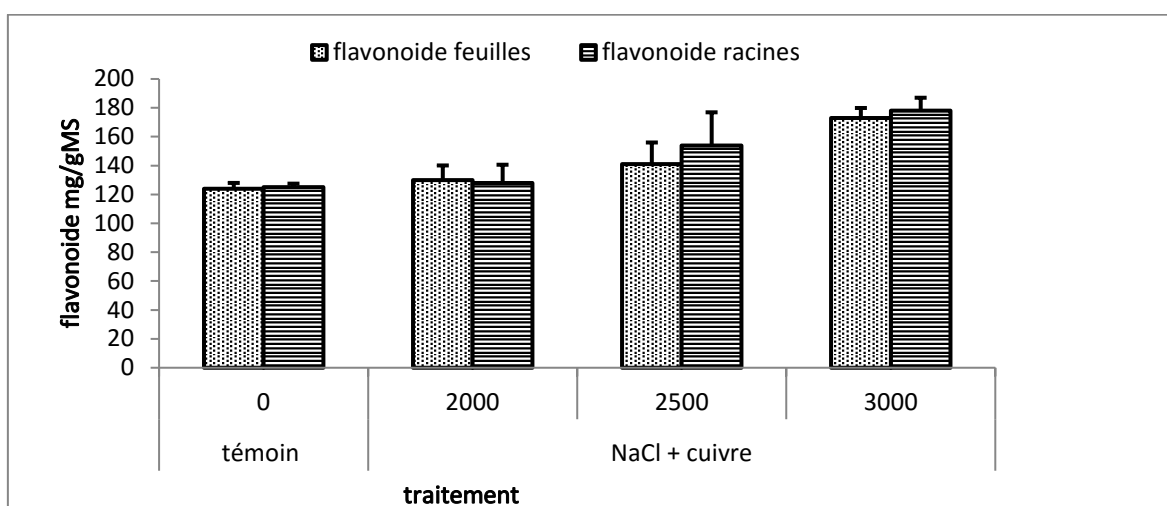
### c) flavonoïde :

#### ➤ Partie aérienne :

Le taux de flavonoïde s'accroît dans les feuilles sous traitement (le cuivre 2500 et 3000 ppm+ NaCl3%) 141.173 mg/gMS par rapport aux feuilles stressées par le sel et le cuivre (3% +2000 ppm) 130mg/ml, ainsi les feuilles de témoins 124 mg/gMS.

#### ➤ Partie racinaire :

On remarque une augmentation successive de flavonoïde dans les racines traitées par le cuivre et le sel (NaCl 3% + le cuivre 2000.2500.3000 ppm)avec concentration 128.154.178 mg/gMS respectivement, par rapport les racines de témoin.



**Fig .34** : dosage de flavonoïde sur les feuilles et les racines des plantes de *Atriplex canescens* sous le traitement combiné de cuivre+ NaCl (3%).

**Tableau 17** : Analyse statistique à l'aide du test de Fisher (à  $p=5\%$ ) de dosage de flavonoïde sur les feuilles et les racines des plantes de *Atriplex canescens* sous le traitement combiné de cuivre+ NaCl (3%).:

flavonoïde	Traitement	Témoin	NaCl (3%) + Cuivre 2000	NaCl (3%) + Cuivre 2500	NaCl (3%) + Cuivre 3000
Mg/gMS	Feuilles	124 ± 4	130 ± 10,1 HS	141 ± 15 HS	173 ± 6,9 HS
	racines	125 ± 2,5	128 ± 12,6 HS	154 ± 22,9 HS	178 ± 9 HS

Les résultats obtenus de tableau montre un effet hautement significatif

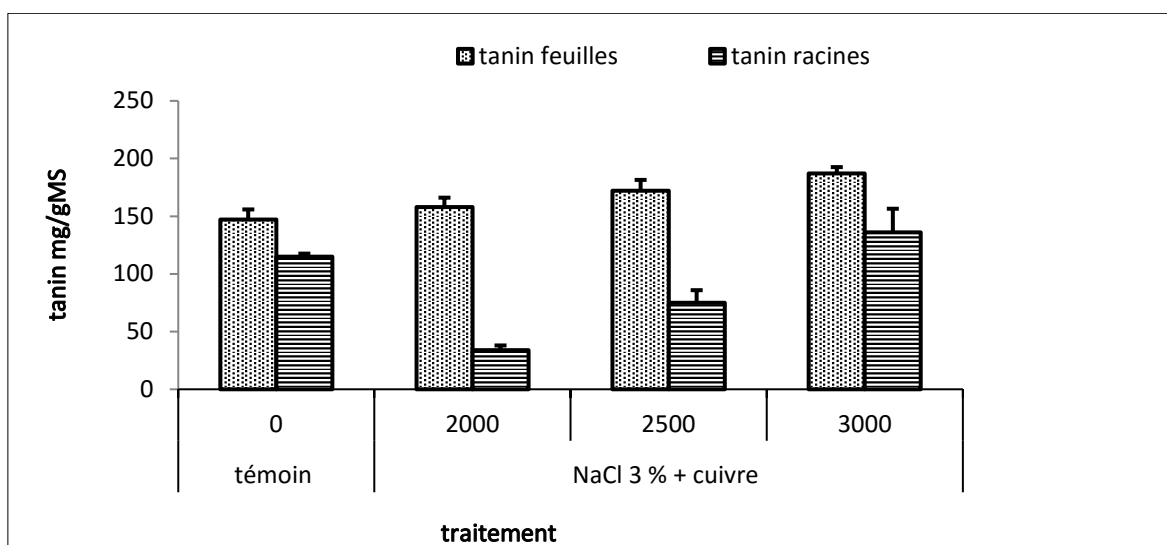
#### 4) les tanins :

##### ➤ Partie aérienne :

Sous traitement de NaCl combiné avec les cuivre à 2000.2500.et 3000 ppm, on remarque une augmentation successive des tanins 158.172.187mg/gMS

##### ➤ Partie racinaire :

Selon la figure 34, on observe une faible croissance des tanins chez les racines stressées par la solution salin 3% combiné avec le cuivre 2000.et 2500 ppm(34.75 mg/gMS), par rapport les racines sous traitement de NaCl 3% combiné avec le cuivre 3000 ppm(136 mg/gMS), et les racines de témoin.



**Fig 35** : dosage de tanin sur les feuilles et les racines des plantes de *Atriplex canescences* sous les traitement combiné de NaCl(3%) +le cuivre.

**Tableau 18** : Analyse statistique à l'aide du test de Fisher (à p=5%) de dosage de tanin sur les feuilles et les racines des plante de *Atriplex canescences* sous les traitement combiné de NaCl(3%)+le cuivre :

Tanins	Traitement	Témoin	NaCl (3%) + Cuivre 2000	NaCl (3%) + Cuivre 2500	NaCl (03%) + Cuivre 3000
mg/gMS	Feuilles	147 ± 8,9	158 ± 8,1 HS	172 ± 9,5 HS	187 ± 5,6 HS
	Racines	115 ± 2,6	34 ± 4 HS	75 ± 10,9 HS	136 ± 20,5 HS

Les données de l'analyse statistique (Tableau 18) signalent que l'effet de sel combiné avec le cuivre sur le dosage des tanins dans tous les feuilles et les racines est hautement significatif.



# **Discussion et la conclusion**

### DISCUSSION

Dans le règne végétal, plusieurs stratégies sont observées pour faire face à un sol contaminé en métaux lourds (**Briat and Lebrun, 1999**). Comme pour les autres stress, la sensibilité des plantes aux métaux lourds varie beaucoup selon les espèces. Souvent les métaux lourds ne sont pas absorbés par les racines du fait de la sélectivité membranaire des cellules des racines, ce qui constitue une forme d'évitement (**Hopkin, 2003**).

Et puisque, les espèces halophiles appartenant au genre *Atriplex* ont été recommandées pour l'assainissement des anciennes zones minières et des sites industrielles (**Salo et al., 1996**) en particulier, dans les zones côtières ou les zones désertiques, où des fortes concentrations de sels solubles sont également présentes dans le sol (**De Villers et al., 1995**). L'objectif principal de cette étude est de tester l'effet de stress métallique (le cuivre) séparé et combiné avec le sel (NaCl) sur les antioxydants de la plante accumulatrice et résistante à la salinité de la plante *d'Atriplex canescense* purch nutt .

#### Les résultats obtenus pour :

Le dosage de protéines enregistre une légère augmentation chez les plantes stressées par la solution saline NaCl à 0,5, alors que la quantité de protéine chez le traitement 3% a diminué jusqu'à 141 µg/g MS par rapport aux feuilles de témoins 148 µg/g MS.

chez les racines on observe une diminution remarquable de protéine sous traitement de NaCl 3% par rapport aux plantes traitées avec NaCl 0,5% et témoins ; les valeurs enregistrées sont 124 et 134 µg/g MS respectivement par rapport aux racines des plantes témoins qui enregistre 138 µg/g MS.

Les résultats d'analyse statistique ont permis un effet hautement significatif dans les racines, Par contre elles montrent aucune influence de dosage de protéines sur les feuilles de la plante *d'Atriplex canescens* purch nutt.

le dosage de protéine chez les plantes *d'Atriplex canescens* traitées par le cuivre 3000 ppm a diminué jusqu'à 145 µg/g MS par rapport aux plantes non traitées 148 µg/g MS, cette quantité est relativement stable chez les plantes arrosées à 2000 et 2500 ppm mais on note que les racines des plantes *d'Atriplex canescens* stressées par la solution métallique 2000, 2500 et 3000 ppm les résultats (159,151,143 µg/g MS) montrent qu'il y'a une augmentation de protéines par rapport aux feuilles de témoins (138 µg/g MS).

## Discussion et conclusion

---

L'analyse statistique à l'aide de Test de Fisher à  $p=5\%$ , montre un effet non significatif chez les feuilles, et les racines sous traitement de cuivre 2000 et 2500 ppm

le dosage de protéine 148  $\mu\text{g}$  concerne les plantes témoins. En revanche, une réduction de ce paramètre est provoquée par le stress métallique 178.161 puis 142  $\mu\text{g/g MS}$  respectivement pour les plantes traitées par le NaCl 0,5% combiné avec le cuivre 2000.2500.2000 ppm

en comparant avec les racines de témoins, les protéines augmentent sous traitement de NaCl 0,5 combiné avec le cuivre 2000,2500, et 3000 ppm à des valeurs 161.157.150 $\mu\text{g/g MS}$ .

Chez les plantes d'*Atriplex canescens*, le régime salin 3% combiné avec le cuivre 2500 et 3000 ppm se traduit par une diminution de dosage de protéine 138.118  $\mu\text{g/g MS}$  par rapport aux plantes témoins 148  $\mu\text{g/g MS}$ . tandis que sous les stress NaCl + le cuivre 2000(151 $\mu\text{g/g MS}$ ) le protéines augmente en comparants aux feuilles témoins

Ce qui confirme notre résultats, **SHAKIL ET AL 2004** ., **ASHRAF ET RASOUL 2006** que la salinité a réduite également le poids frais et sec des protéines contenus dans toutes les parties de la plante, les feuilles, les racines, la longueur des bourgeons,...ect.

Ainsi les résultats de **ABDELHALEEM.,2007** ; montrent une décroissance significatif de la teneur en protéines sur *Vigna radiata L.* Wilczek sous le stress salin.

les polyphénols, indiquent une augmentation de cet paramètre dans les plantes traitées par le NaCl à (0,5% et 3%), avec une corrélation positif, et indique aussi que la salinité et les métaux lourds induit une augmentation significative des taux de Polyphénols dans les parties aériennes et souterraines des plantes de l'*Atriplex canescense*. Cette augmentation est corrélée positivement avec les concentrations de NaCl (0,5% 3%) et le cuivre (2000.2500.3000ppm).

Selon (**OBIED et al. 2007**), ont confirmé par le dosage par spectrophotométrique, la quantité de polyphénole dans les margine brute est plus élevée.

## Discussion et conclusion

---

Après extrapolation des résultats de la D.O sur la courbe d'étalonnage, la teneur en composés phénoliques solubles totaux (C.P.S.T) de la variété Deglet Nour est estimée de 0,0815 g/l d'acide gallique soit 81,5 ug/ml. Cette quantité est légèrement supérieure à celle trouvée par Yahiaoui (1999) (77 ug/ml), cependant, elle est 5 fois supérieure (16,6ug/ml) à celle communiquée par **Ghazi et Sahraoui (2005)**.

Quant à la variété Hamraia, la teneur en C.P.S.T. est de 0,141 g/l d'acide gallique (soit 141,5 ug/ml) et donc là aussi 5,5 fois supérieure (26,66 ug/ml) à celle rapportée par **Ghazi et Sahraoui (2005)**. Cette large différence est probablement due aux conditions de stockage, de l'origine de provenance et au différent taux de matière sèche des échantillons.

Pour le dosage des flavonoïdes sous le stress salin 0,5 et 3%, les résultats obtenu permis un augmentation remarquable dans les feuille 140.158 mg /g MS en comparant avec feuilles non traité(124 mg/g MS ).et chez les racines de la plante de l'*Atriplex canescens* les valeur enregistrent 135et 150 mg/g MS respectivement par rapport plante traitées par la solution nutritive (125 mg /g MS).

Sous le traitement de cuivre 2000,2500,et 3000 ppm, au niveau des feuilles le taux de flavonoïde passe de 124 de MS dans les plantes témoins à 137 et 152 mg/g MS puis 169 mg/g MS, respectivement

Les valeurs enregistrées pour les quantités de flavonoïde au niveau des racines ont tendance à augmenter également en fonction du niveau de concentration de cuivre. Le taux de flavonoïde passe de 125 mg/g MS pour les plantes non stressées à 134 mg/g MS pour celles traitées à 2000ppm, puis à 146 et 174 mg/g MS de cuivre 2500 et 3000 ppm

On a observé que les flavonoïdes s'accroît dans les feuilles traitées par le sel 0,5% + le cuivre à 3000 à 163 mg/g MS comparativement avec les feuilles traitées par NaCl 0,5% +le cuivre à 2000 ,2500 ppm qui enregistre la même quantité de flavonoïdes (128 mg/g MS). Par rapport les plantes témoins qui marque 124 mg/g MS

Dans les racines de la plante stressée par NaCl 0,5% + le cuivre (2500, 3000 ppm) montres une augmentation 144.154 mg/g MS, proche aux racines de témoin 125 mg/g MS, et ont une faible croissance par rapport aux racines de la plante arrosées par le sel de 0,5% + le cuivre de 2000 ppm à 127 mg/g MS

## Discussion et conclusion

---

sous traitement salin (3% + le cuivre 2500 et 3000 ppm) Le taux de flavonoïde s'accroît dans les feuilles à 141.173 mg/g MS par rapport aux feuilles stressées par le sel et le cuivre (3% +2000 ppm) 130 mg/g MS, ainsi les feuilles de témoins 124 mg/g MS.

Et une augmentation successive de cet paramètre dans les racines traitées par le sel et le cuivre (NaCl 3% + le cuivre 2000.2500.3000 ppm) avec concentration 128.154.178 mg/g MS respectivement, par rapport les racines de témoin.

Les analyse statistique trouvés, induit que l'effet de stress salin NaCl (0,5% 3%), et l'effet de cuivre(2000.2500.3000ppm) est hautement significatif dans les racine de la plante. ainsi sous le traitement combinées de NaCl et le cuivre.

En comparants notre résultats avec les résultats de (**BREMNESS, L. (2002)**), qui trouve la teneur en flavonoïdes totaux, rapportée à 100 g de matière sèche est de 84 mg, exprimée en citroflavonoïdes. Cette valeur est inférieure à celle de *Aronia melanocarpa* (Rosaceae) (200-1000 mg/100 g de matière sèche), à celle de *Solanum aethiopicum* L (Solanaceae) (750 mg/100 g de matière sèche). Elle est supérieure à celle de *Fragaria ananassa* (Rosaceae) (13-36 mg/100 g de matière sèche) et à celle de *Rubus idaeus* (Rosaceae) (10-60 mg/100 g de matière sèche).

D'après les résultats de **Ho et ses collaborateurs, (2008)** l'extrait méthanolique du cumin est riche en flavonoïdes ( $243.1 \pm 0.00$  mg EC/g sce)

Pour le dosage des tanins subi une augmentation sous le stress salin NaCl 0,5 et 3%.chez les feuilles ont atteint 160 , 174 mg/g MS, et chez les racines 124, 145 mg/g MS respectivement. Dans le traitement témoin, on a enregistré 147 et 115 mg/g MS respectivement

Les résultats montrent un effet significatif dans les deux traitements de NaCl

Sous le stress métallique de cuivre 2000.2500 et 3000 ppm, les résultats ont montré que les tanins sont plus élevées , quelque soit dans les feuilles ou les racines qui ont enregistrés des valeur 163, 165 et 179 mg/g MS, et 117,139 et 148 mg/g MS respectivement. en comparants aux feuilles et racines témoin 147 et 115 mg/g MS.

## Discussion et conclusion

---

Quand on a appliqué le stress combiné de NaCl 0,5 % avec le cuivre 2000.2500.3000 ppm on a observé une augmentation remarquable des tanins chez les feuilles et les racines, et les résultats des analyse statistique indique un effet hautement significatif.

Ainsi sous le stress de NaCl 3% avec le cuivre 2000.2500.3000 ppm les tanins enregistre chez les feuilles une augmentation successive 158.172.187mg/g MS .tandis que chez les racines on observe une faible croissance des tanins stressées par la solution salin 3% combiné avec le cuivre 2000.et 2500 ppm(34.75 mg/ml), par rapport les racines sous traitement de NaCl 3% combiné avec le cuivre 3000 ppm(136mg/ml), et les racines de témoin

D'après l'analyse des résultats obtenus la variété Hamraia s'avère riche en T.C. (24ug/ml) par rapport à celle de Deglet Nour (20.25 ug/ml), mais cette différence n'est pas significative.

selon **Yahiaoui (1999)** nous remarquons que les teneurs trouvées par lui pour la variété Deglet Nour est (70ug/ml) sont largement plus élevées comme nos résultats. En revanche, ce dernier auteurs a trouvé une valeur très élevée en T.C. pour la variété Hamraia (50 ug/ml).

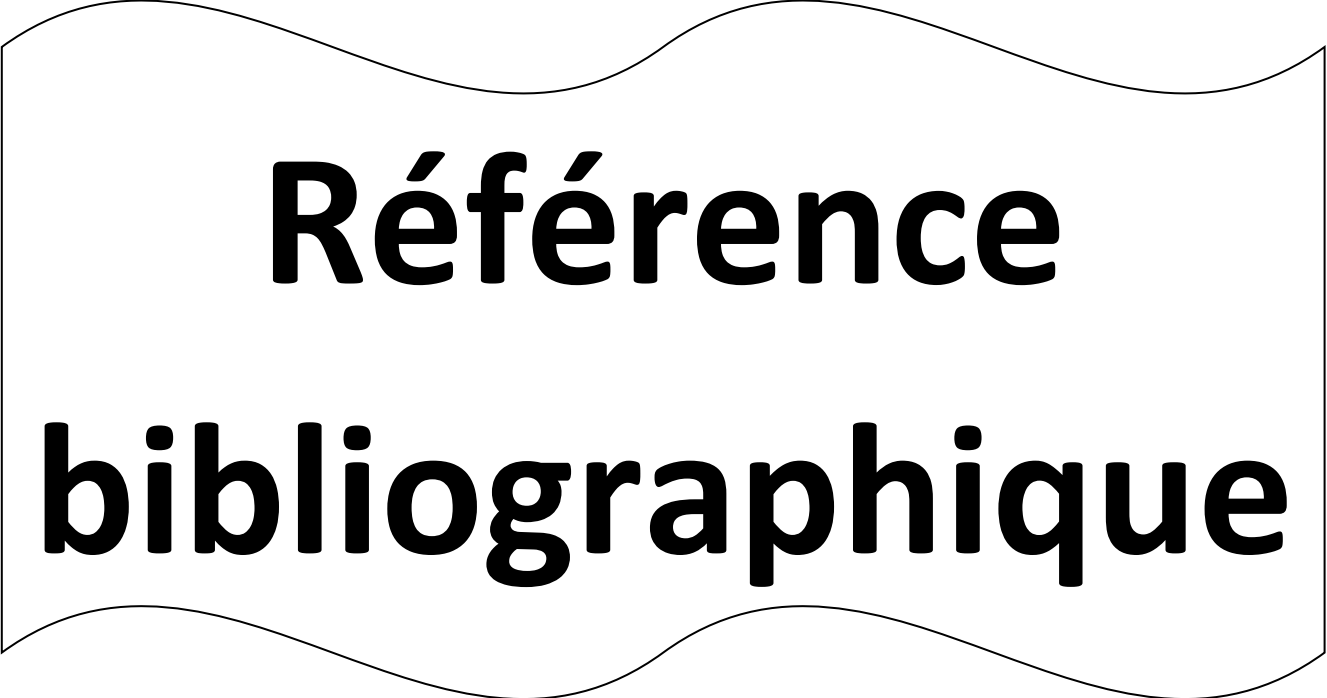
La teneur en composés phénoliques des extraits alcooliques et aqueux correspond éventuellement en premier lieu aux tanins sous forme condensés, car selon certains auteurs les dattes mures contiennent des taux significatifs de pro anthocyanidines (**Liwei et al., 2004 ; Hong et al., 2006**) ; ce qui est en accord avec nos résultats où les tanins condensés présentent les proportions les plus élevées.

## Conclusion

Au terme de notre travail qui a visé à l'étude de la tolérance de l'*Atriplex Canescens* (Pursh nutt) au stress métallique séparé et combiné avec la salinité ,en appliquant des différentes doses, dans le but de déterminer les taux des antioxydants. Les niveaux de stress métallique appliqués avec le sel ont induit une augmentation importante des protéines et les antioxydants (polyphenols, flavonoïdes et tanins) des feuilles et les racines d'*Atriplex Canescens*, les résultats obtenus dans ce travail, nous ont montré que la plante d'*atriplex canescens* . à une capacité à résister à des fortes concentrations de cuivre (3000ppm) combiné avec le sel jusqu'au 30 g/l.

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

- Il serait intéressant de tenir compte de la durée du stress pour mieux valoriser la réponse de la plante.
- Il serait important d'augmenter les doses des métaux pour tester la capacité de résistance de cette plante.
- Généralement, les sols sont pollués par plusieurs métaux, dans ce contexte, il serait souhaitable de faire d'autres études sur cette espèce sous diverses contraintes métallique



**Référence  
bibliographique**

# Références bibliographiques

---

## Références bibliographiques

### A

**ABDEL. HAKEEM.M.AMOHAMED.,2007-physiological aspects of Mung bean plant in response of salt stress.**

**ACEMIOGLU B & MH ALMA. 2004.** Removal of Cu (II) from aqueous solutions by Calabrian pine bark wastes. *Fresenius Environmental Bulletin* 13, 585-590.

**ADRIANO DC. 1986.** Copper. in S.-V. N. Y. INC, editor. Trace elements in the terrestrial environment. *Advances in Ecological Research*, 7, 1-85.

**ALEM C., LABHILILI M., BRAHIMI K., JLIBENE M., NASRALLAH N., AND FILALI-MALTOUF A., 2002.** Adaptations hydrique et photosynthétique du blé dur et du blé tendre au stress salin. *C. R. Biologies*, Vol. 325 :1097-1109

**ANTONOVICS J., BRADSHAW A.D. AND TURNER R.G. (1971).** Heavy metal tolerance in plants applications. *Plant Cell and Environment*, 30, 271-290.

**ARIAS M, MT BARRAL & JC MEJUTO. 2002.** Enhancement of copper and cadmium adsorption on kaolin by the presence of humic acids. *Chemosphere* 48, 1081-1088.

ASHRAF.M., 2004-Some important physiological selection criteria for salt tolerance in plants.*Flora Review*.V199,p 361-376

**ASLOUM H., 1990:** Elaboration d'un système de production maraîchère (Tomate, et amélioration des végétaux, Université de Nice Sophia- Antipolis: 24- 32.

### B

**BAKER, A.J.M., ET BROOKS, R.R. 1989.** Terrestrial higher plants which hyper accumulate and Biochemistry of Metal Toxicity and Tolerance in Plants, Prasad M.N.V. et Strzalka K. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol* 49, 669-696.

**BANUELOS, G.S., SHANNON, M.C.; AJWA, H., DRAPER, J.H., JORDAHL, J., LICHT, J. 1999.** Phytoextraction and accumulation of boron and selenium by poplar (*Populus*) hybrid clones. *International Journal of Phytoremediation* 1, 81-96.

**BATANOUNY K.,1993 .** Ecophysiology of halophytes and their traditional use in the Arab world. *Advanced Course on halophyte utilisation in Agriculture*,12 Sept.,Agadir, Marocco.

**BAYUELO-JIMENEZ J., CRAIG R. AND LYNCH J.P., 2002.** Salinity tolerance of *Phaseolus* species during germination and early seedling growth. *Crop Sci.*, **42**, 2184-2192.

## Références bibliographiques

---

- BELKHODJA M., BIDAI Y., 2004:** Réponse des graines d'*Atriplex halimus* L. à la salinité au stade de la germination. Sécheresse n°4, vol 15, pp 331-334.
- BEN AHMED H., ZID E., EL GAZZAH C., GRIGNON C., 1996:** Croissance et accumulation ionique chez *Atriplex halimus* L. Cahiers d'Agricultures, Vol. 5 : 367- 372.
- BENACEUR M., RAHMOUN C., SDIRI H., MEDAHI M. AND SELMI M., 2001.** Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production de grains de blé. Secheresse, 12 (3): 167-174.
- BLAYLOCK, M.J. ET HUANG, J.W. 2000.** Phytoextraction of metals. In: I. Raskin and B.D.
- BLIEFERT et PERRAUD, 2001.** Chimie de l'environnement Air, Eau, Sol. 1<sup>ère</sup> Ed., Boeck Université, Bruxelles, 477p. Diagnostic environnemental de la gare routière (pollution atmosphérique par TSP et métaux lourds) par Abdellah SBARGOUD Université Mouloud MAMMERI TIZI-OUZOU - Ingénieur d'état en Ecologie et Environnement 2009
- Sauvé S, MB McBride, WA Norvell & WH Hendershot. 1997. Copper solubility and speciation of in situ contaminated soils: Effects of copper level, pH and organic matter. Water Air and Soil Pollution 100, 133-149.
- BOON GT, LA BOUWMAN, J BLOEM & P ROMKENS. 1998.** Effects of a copper-tolerant grass (*Agrostis capillaris*) on the ecosystem of a copper-contaminated arable soil. Environmental Toxicology and Chemistry 17, 1964-1971
- BRAVIN M., 2008.** Processus rhizosphériques déterminant la biodisponibilité du cuivre pour le blé dur cultivé en sols à antécédent viticole. Centre International d'Etudes Supérieures.
- BREMNESS, L. (2002)** Plantes aromatiques et médicinales. Bordas (Ed). Paris, 303 p.
- Briat JF. and Lebrun M. (1999).** Plant responses to metal toxicity. Plant Biology and Pathology, Académie des Sciences, Elsevier, Paris, 322: 43-54.
- BRUN L.A., MAILLET J., HINSINGER P., PEPIN M., 2001.** Evaluation of copper availability to plants in copper-contaminated vineyard soils. Environmental Pollution, 111, 293-302.
- BRUN LA, J LE CORFF & J MAILLET. 2003.** Effects of elevated soil copper on phenology, growth and reproduction of five ruderal plant species. Environmental Pollution 122, 361-368.
- BRUN, L.A., MAILLET, J., RICHARTE, J., HERRMANN, P. ET REMY, J.C. 1998.** Relationships between extractable copper, soil properties and copper uptake by wild plant in vineyard soils. Environ. Pollut. 102: 151-161.

## Références bibliographiques

---

**CANO, N., BARNOUD, D., SCHNEIDER, S. M., VASSON, M.-P., HASSELMANN, M. & LEVERVE, X. (2006).** Traité de nutrition artificielle de l'adulte. Edition Springer, p 255.

**CASTROVIEJO M., INBAR M., GOMEZ-VILLAR A., GARCIA-RUIZ J M., 1990:** Cambios en el cauce aguas abajo de una presa de retention de sedimentos », I Reunion Nacional de Geomorfologia, Teruel : 457-468

**CHEN YX, YP WANG, Q LIN & YM LUO. 2005.** Effect of copper-tolerant rhizosphere bacteria on mobility of copper in soil and copper accumulation by *Elsholtzia splendens*. *Environment International* 31, 861-866

**CHINNUSAMY V., SCHUMAKER K. AND ZHU J. K ., 2004.** Molecular genetics perspectives on cross-talk and specificity in abiotic stress signalling in plants. *J of Experimental Botany*. 55: 225-236

**CLEMENS S., 2001.** Molecular mechanisms of plant metal tolerance and homeostasis.

**CLIFFORD, A. (2001).** Wright, Mediterranean vegetables : A Cook's ABC's of vegetables and their preparation in Spain, France, Italy, Greece, Turkey, the Middle East and North Africa with more than 200 Anth. Harvard Common Press, p 131.

**COÏC Y., COPPENET M., 1989.** Les Oligoéléments en Agriculture et Elevage. Incidences sur la Nutrition Humaine. INRA, Paris, 136p. contaminated soils. *Curr. Opin. Biotechnol.* 14: 277-282. copper in copper-enriched swine manure. *J. Environ. Quai.* 15: 69-72

D

**D. J. WALKER, S. LUTTS, M. SANCHEZ-GARCIA, ET E. Correal,** "Atriplex halimus L.: Its biology and uses", *Journal of AridEnvironments*, vol. 100-101, pp. 111-121, 2014.

**DACOSTA Y PARIS, 2003.** Les phytonutriments bioactifs : 669 réféérences bibliographiques. Ed. Yves Dacosta, , p. 317. Kohen R. and Nyska A. Invited Review: Oxidation of Biological Systems: Oxidative Stress Phenomena, Antioxidants, Redox Reactions, and Methods for Their Quantification. *Toxicol. Path.* 2002; 30: 620-650.

**DAMERON, C.T. ET HOWE, P.D. 1998.** Copper. *Environmental Health Criteria*, 200, World Health Organization, Geneva, 360 p.

**DELAS, J. 1963.** La toxicité du cuivre dans les sols. *Agrochimica VII*: 257-288. Deurer, M., Hurst, S., Thayalakumaran, T. et van den Dijssel, C. 2003. Phytoremédiation: using plant as biopumps to improve degraded environments.

## Références bibliographiques

---

**De Villers A.J., Van Rooyen M.W., Theron G.K. and Claassens A.S. (1995).** The effect of leaching and irrigation on growth of *Atriplex semibaccata* L. Land Degrad. Rehabil.

**DUMESTRE A, S SAUVE, M MCBRIDE, P BAVEYE & J BERTHELIN. 1999.** Copper speciation and impacts on bacterial biosensors in the pore water of coppercontaminated soils. Environmental Science and Technology, 34, 5115-5121.

**DUSHENKOV, S., KAPULNIK, Y. 2000.** Phytoremediation of metals. In I. Raskin & B. D. Ensley (Eds.), Phytoremediation of toxic metals – Using plants to clean-up the environment. New York: Wiley. 89–106. en Sciences Agronomiques, MontpellierSupAgro, 203 p.

### E

**EPSTEIN E., NORLYN J.D. , RUCH D.W. , KINSBURY R.W. , CUNNINGHAM A.F. , WRONA A.F., 1980.** Saline culture of crops: a genetic approach, Science (2310) 399-404.

**ERNST, W.H.O. 1996.** Bioavailability of heavy metals and decontamination of soils

### F

**FRANCLET A., LE HOUEROU HN., 1971:** Les *Atriplex* en Tunisie et en Afrique du Nord. Rome: Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture: 249- 271.

**FROMENT D., 1972:** Etablissement des cultures fourragères d'*Atriplex* en Tunisie central. Bull recherche Agro.C.E.M.L.Vol extra: 590-600.

### G

**GARBISU, C.ALKORTA, I. 2001.** Phytoextraction: a cost-effective plant-based technology for the removal of metals from the environment. Bioresource Technology 77, 229-236.

**GARTSIDE D.W. AND MC NEILLY T.B. (1974).** The potential for evolution of heavy metal

**GAUCHER G., BURDIN., 1974:** Géologie, géomorphologie et hydrologie des terrains *Lycopersicum esculentum* L.) en culture hors sol pour les régions sahariennes. Montpellier, 194 p. salés, presses, presses Universitaire de France, 230 P.

**Ghazi F et Sahraoui S., 2005.** Evolution des composés phénoliques et des caroténoïdes totaux au cours de la maturation de deux variétés de datte communes Tantboucht et Hamraia, mémoire d'ingénieur en agronomie, El Harrach.

**GRAHAM R.D., 1981.** Absorption of copper by plants roots. Copper in soils and plants. Ed

**GRENNAN A. K., 2006.** High Impact Abiotic Stress in Rice. An «Omic» Approach; Plant Physiology, April 2006, Vol. 140, pp. 1139-1141.

## Références bibliographiques

---

**GRIME J P., 1979:** Plant strategies and vegetation processes. New York: John Wiley and Sons.222 P.

### H

**H.C.D.S., 1996:** Notice bibliographique sur quelques plantes fourragères et pastorales. Haut commissariat du développement de la steppe.15 P.H.-K. Galazka, editor. Current developments in remediation of contaminated lands, Pulawy, Poland.

**HAGEMEYER J., BRECKLE S.W., 1996** - Growth under trace elements stress-In : Waisel, Y., Eshel, A., Kalkafi, U(ed) : Plant Roots , The Hidden Half. pp. 415-433. Marcel Dekker, New York.

**HAMDY A., LIETH H., MEZHER Z., 1995:** Halophyte performanace under high salinity levelsian overview saline irrigation, halophyte production and utilization. roject. N° IG. 18. CT.96.55: 20-58.

**HASEGAWA P.M., BRESSAN R. A., ZHU J. K. AND BOHNERT H. J., 2000.** . Plant cellular and molecular responses to high salinity. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 51, 463-499.

**HERNANDEZ J.A., FERRER M.A., JIMENEZ A., ROS-BARCELO A., AND SEVILLA F., 2001.** Antioxidant systems and  $O_2/H_2O_2$  production in the apoplast of *Pisum sativum* L. leaves: its relation with NaCl induced necrotic lesions in minor veins. Plant Physiol., 127: 817-31.

**HILLEL D., 2000.** Salinity Management for Sustainable Irrigation. The World Bank, Washington, D.C.

**HONG Y J.,TOMAS-BARBERAN F A., KADER A. A., MITCHELL A E., 2006.** The flavonoid glycosides and procyanidin composition of Deglet Noor dates(*Phoenix dactylifera*). *Agric food chem.*, 54:2405-2411.

**HOPKINS W G., 2003:** Physiologie végétale. 2éme édition. De Boeck, Bruscelles: 61- 476.

**Ho, S.C., Tsai, T.H., Tsai, P.J., Lin, C.C. (2008)** Protective capacities of certain spices against peroxynitrite-mediated biomolecular damage. *Food and Chemical Toxicology*. **46:** 920-928.

**HUTCHINSON TC & MS SYMINGTON. 1997.** Persistence of metal stress in a forested ecosystem

### I

**IWASAKI K., SAKURAI K., TAKAHASHI E., 1990.** Copper binding by the root cell walls of Italian ryegrass and red clover.-Soil Science and Plant Nutrition, 36, 431-439.

### J

**JARVIS S.C., WHITEHEAD D.C., 1983** - The absorption, distribution and concentration of copper in white clover grown on a range of soils. Plant Soil 75, pp. 427-434.

## Références bibliographiques

---

**JIANG W., LIU D., LI A., 2000** - Effects of Cu<sup>2+</sup> on root growth ; Cell Division and Nucleolus of *Helianthus annuus* L. *Sci. Tot. Environ.* 256, p 59.

**JONES H G., FLOWERS T J., JONES M B., 1989:** Plants under stress. Cambridge, Cambridge University Press.

K

**K. BENAROUS (2006)**, Effets des extraits de quelques plantes medicinales locales sur les enzymes alpha amylase, trypsine et lipase, mémoire d'Ingénieur d'état, Université Amar Telidji Laghouat,

**K. BOUHADJRA (2011)**, étude de l'effet des antioxydants naturels et de synthèse sur la stabilité oxydative de l'huile d'olive vierge, thèse pour l'obtention du diplôme de magister, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou.

**KABATA-PENDIAS A., PENDIAS H., 1992.** Trace éléments in soils and plants. 2nd Edition, CRC Press, Boca Raton, Florida, 365p.

**KATYAL, J.C. ET RANDHAWA, N.S. 1986.** Les oligo-éléments - Bulletin FAO: Engrais et Nutrition végétale. Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, Rome, 88 p.

**KILLIAN C., 1953:** La végétation autour de chott Hodna indicatrice des possibilités culturales et son milieu édaphique. *A.n.Inst. Agro. T. VII:* 51-80.

**KINRAIDE T.B., PEDLER J.F., PARKER D.R., 2004.** Relative effectiveness of calcium 34 p

**KULISIC T., RADONIC A., KATALINIC V. AND MILOS M.,** Use of different methoedes for testing anitioxidative activity of oregano essentiel oil, *food chem* 85,633-640(2004)

**KUMAR, P.B.A.N., DUSHENKOV, V., MOTTO, H. ET RASKIN, I. 1995.** Phytoextraction: The use of plant to remove heavy metals from soils. *Environ. Sci. Technol.* 29: 1232-1238.

L

**LASAT, M.M. 2002.** Phytoextraction of toxic metals: a review of biological mechanisms. *J. Environ. Quai.* 31: 109-120.

**LASTRA O., GHUECA A., GONZALEZ C., LACHICA M., GORGE J. L., 1987** - El cobre comonutriente de la planta. *Annals edafol. Agrobiol* 46 ; pp. 1005-1020.

**LE HOUEROU H N., 1986:** Salt-tolerant plants of economic value in the Mediterranean basin. *Reclamation and Vegetation Research.* Vol. 5: 319- 341.

**LECOMTE, P., 1998.** Les sites pollués : Traitement des sols et des eaux souterraines. TEC & DOC, Lavoisier, Paris. 98 p

## Références bibliographiques

---

**LEVIGNERON A., LOPEZ F., VANSUYT G., BERTHOMIEU P., FOURCROY**

lignite derived humic substances on the growth-responses of metal tolerant and nonmetal tolerant cultivars of *Agrostis capillaris* L. *Soil Technology* 6, 163-171.

**LES ECHOS/CNRS.COM**

**LINDSAY, W.L. 1979.** Chemical equilibria in soils. John Wiley & Sons Inc., New York, 449 P

**LINEHAN W.L., 1984.** Micronutrient cation sorption by roots and uptake by plants. *Journal of Experimental Botany*, 35, 1571-1574.

**Liwei G , Kelm M A., Hammerstone J. F., Beecher G., Holden J., Haytowitz D., Gebhardt S., Prior R. L., 2004.** Concentrations of Proanthocyanidins in common foods and estimations of normal consumption. *Nutr.* **134**: 613–617.

**LME, LONDON METAL EXCHANGE. 2008.** <http://lme.co.uk>

**LONERAGAN J.F., 1981.** Distribution and movement of copper in plants. *Copper in soils and plants.* Ed Loneragan J.F., Robson A.D. and Graham R.D., Academic Press, 165-187.

Loneragan J.F., Robson A.D. and Graham R.D., Academic Press, 141-163.

**LOUE A. 1993.** Oligoéléments en agriculture. Ed. Nathan, 577 p.

M

**M. M. R. KANSOLE,** Etude ethnobotanique, phytochimique et activités biologiques de quelques Lamiaceae du Burkinafaso : cas de *Leucas Martinicensis*(Jacquin) R. Brown, *hoslundia opposita* vahl et *orthosiphon pallidus* Royle ex Benth. Diplôme d'Etudes Approfondies, Université d'Ouagadougou.

**M.BELGUIDOUM (2012),** Une approche phytochimique pour différencier deux espèces de genre *Zygophyllum*, mémoire de master, Université Kasdi Merbah Ourgla. Subramanian S., Stacey G. and Yu O. Distinct, crucial roles of flavonoids during legume nodulation. *Trends Plant Sci.* 2007; 12: 282-285. magnesium in the alleviation of rhizotoxicity in wheat induced by copper, zinc, aluminium,

**MAIRE R., 1962:** Flore de l'Afrique de Nord Vol (VIII), Ed. PAUL, LECHEVALIER, Paris. 330 P.

**MARSCHNER H., 1995.** Mineral nutrition of higher plants. Second Edition, Academic Press, 889 p.

**MARTINEZ JP., SILVA H., LEDENT JF., AND PINTO M., 2007.** Effect of drought stress on the osmotic adjustment, cell wall elasticity and cell volume of six cultivars of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) *European journal of agronomy.* Jan., Vol. 26,1,p. 30-38.

**MARTINS V., HANANA M., BLUMWALD E., GEROS H., 2012.** Copper transport and compartmentation in grape cells. *Plant and cell physiology*, 53,11, 1866-1880.

## Références bibliographiques

---

**McBride MB (1981)** Forms and distribution of copper in solid and solution phases of soil. In: Copper in soils and plants. Eds Loneragan JF, Robson AD and Graham RD, Academic Press, pp. 25–45.

**MCGRATH, S.P. ET ZHAO, F.-J. 2003.** Phytoextraction of metals and metalloids

**MENGEL K., KIRKBY E.A., 2001.** Soil copper. Principles of plant nutrition., 5th ed, Kluwer Academic Publishers, 599-611.

**MICHAUD A.M., BRAVIN M.N., GALLEGUILLOS M., HINSINGER P., 2007.** Copper uptake and microbial activity in long-term contaminated soils. Archives of Environmental Contamination and Toxicology 36, 124-131.

**MILLER N.J AND RICE-EVANS C.,(1996).** spectrophotometric determination of anioxidant activity,redox report 2(3),161-171 (1996)

**MILLER, W.P., MARTENS, D.C., ZELAZNY, L.W. ET KORNEGAY, ET. 1986.** Forms of solid-phase microorganisms and roots of barley and sorghum for iron accumulated in the root apoplasm. New Phytologist, 130, 511-521.

**MULLER S.L., HUGGETT D.B., RODGERS JR J.H., 2001** - Effects of sulfate on *Typha latifolia* seed germination and early seeding growth in aqueous and sediment exposures. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 40, pp. 192-197.

**MUNNS R., 2008.** Sodium excluding genes from durum wheat and sea barleygrass improve sodium exclusion of bread wheat. 2nd International Salinity Forum Salinity, water and society-global issues, local action

**MUNNS, R. AND RAWSON H.M., 1999.** Effect of salinity on salt accumulation and reproductive development in the apical meristem of wheat and barley. Aust. J. Plant Physiol. 26:459-464.

N

**NAUJEER, H. B. (2009).** Morphological diversity in eggplant (*Solanum melongena* L.), their related species and wild type conserved at the National gene bank in Mauritius. Master's thesis. CBM Swedish Biodiversity Center. near Sudbury, 66 years after closure of the O'Donnell roast bed. Journal of Geochemical Exploration 58, 323-330.

O

**OBIED H.K., BEDGOOD JR.DR.,PRENZLER P.D ET ROBARDS K.2007** , : Quelques aspects de tolérance de l'Atriplex halimus L. en chlorure de sodium, multiplication, composition minéraux. Oecol. Plant. 12 : 351.

## Références bibliographiques

---

**ORCUTT D.M. AND NILSEN E.T. ,(2000):** Physiology of plants under stress. John Wiley & Sons Inc., New York, NY, USA.

**OUKARROUM ABDALLAH. 2007.** Vitalité des plantes d'orge (*Hordeum vulgare* L.) en conditions de stress hydrique et thermique analysée par la fluorescence chlorophyllienne. Thèse doctorat. Université De Genève.

P

**P., CASSE-DELBART F., 1995:** Les plantes face au stress salin. Cahiers Agricultures.4 (4): 263-273. phytotoxicity as assessed in situ for durum wheat (*Triticum turgidum durum* L.) cultivated in Cu-contaminated, former vineyard soils. Plant Soil, 298, 99-111.

**PINCEMAIL J, MEURISSE M, LIMET R ET DEFRAIGNE J O (1999).** L'évaluation du stress oxydatif d'un individu: une réalité pour le médecin. Vaisseaux, Coeur, Poumons, 4 (5).Planta, 212, 475-486. plants. Appl. Geochem. 11: 163-167.

**POLJAKOFF-MAYBER A., 1975:** Morphological and anatomical changens

**POLJAKOFF-MAYBER A., 1988:** Ecological-physiological studies on the responses of higher plants to salinity and drought. Arid Zone Res. 6: 163-183.

**POUGET M., 1971:** Etudes agro pédologique du bassin de Zehrez El Gharb (feuille de roche de sel) R.A.D.P. Secrétariat d'état à l'hydraulique, Alger. 12 : 1261-1377.

**PRASAD, M.N.V., DE OLIVEIRA FREITAS, H.M. 2003.** Metal hyperaccumulation in plants - Biodiversity prospecting forphytoremediation technology. Electronic Journal of Biotechnology 6, 110-146

**PRICE A.H. AND HENDRY G.A.F., 1991.** Iron-catalysed oxygen radical formation and its possible contribution to drought damage in nine native grasses and three cereals. Plant Cell Environ.14:477-484.

**PRIETO P., PINEDA M.AND AGUILAR M .,(1999)** spectrophotometric quantitation of antioxidant capacity Through the formation of a phosphomolybdenum complex

**PUIG S., ANDRES-COLAS N., GARCIA-MOLINA A., PENARRUBIA L., 2007.** Copper and iron homeostasis in Arabidopsis: response to metal deficiencies, interactions and biotechnological

R

**RAACHE I., KARBOUSSA-HALOUA R., 2004:** Caractérisation morphologique anatomique de quelque espèces halophiles dans la cuvette de Ouargla. Mémoire Ingénieur, Université de Ouargla, 67 P.

## Références bibliographiques

---

**RATNIKOV AN, DG SVIRIDENKO, TL ZHIGAREVA & GI POPOVA. 2005.** Effects of heavy metals and organic fertilisers on a biological activity of soddy-podzolic soil and yield of barley. in **RAY S. D., WONG V.,** Rinkovsky A., Bagchi M., Raje R. R. and Bagchi D. Unique organoprotective properties of a novel IH636 grape seed proanthocyanidin extract on cadmium chloride-induced nephrotoxicity, dimethylnitrosamine (DMN)-induced splenotoxicity and mocap-induced neurotoxicity in mice. Res. Commun. Mol. Pathol. Pharmacol. 2000; 107: 105-128. response to salinity stress, in Plants in Saline Environments. Ecological Studies.

**REUTER D. J., ROBINSON J. B., 1997.** Plant analysis: an interpretation manual. CSIRO publishing, Australia, 572 p.

**ROBERT, M. ET JUSTE, C. 1999.** Dynamique des éléments traces de l'écosystème sol. In Club CRIN Environnement et Ministère de l'environnement. Spéciation des métaux dans le sol. Paris: CRIN. 105 p

**ROBINSON, B.,** Green, S., Mills, T., Clothier, B., van der Velde, M., Laplane, R., Fung, L., **R. S. Swingle, E. P. Glenn, et V. Squires,** "Growth performance of lambs fed mixed diets containing halophyte ingredients", Animal Feed Science and Technology, vol. 63, no 1-4, pp. 137-148. 1996.

### S

**S.DJEMAI ZOUGHLACHE (2008),** Etude de l'activité biologique des extraits du fruit de Zizyphus lotus L, mémoire magister, Université -El Hadj Lakhder –Batna

**S.DJEMAI ZOUGHLACHE (2008),** Etude de l'activité biologique des extraits du fruit de Zizyphus lotus L, mémoire magister, Université -El Hadj Lakhder –Batna.

**SALAH H. BJARRAYA R.,MARTIN M T., VIETCH N. C., GRAYER R. J (2002).** spectrophotometric quantitation of antioxidant capacity Through the formation of a phosphomolybdenum complex

**Salo L.F., Artiola J.F. and Goodrich-Mahoney J.W. (1996).** Plant species for revegetation of a saline flue gas desulfurization sludge pond. J. Environ. Qual. 25, 802–808.

**SALT, D.E., SMITH, R.D. AND RASKIN, I. (1998).** Phytoremediation. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 49, 643–68.

## Références bibliographiques

---

**SAUVÉ S., DUMESTRE A., MCBRIDE M AND HENDERSHOT W (1998)** Derivation of soil quality criteria using predicted chemical speciation of Pb<sup>2+</sup> and Cu<sup>2+</sup>. *Environmental Toxicology and Chemistry* 17, 1481–1489.

**SCHMIDT, U. 2003.** Enhancing phytoextraction: The effect of chemical soil manipulation on mobility, plant accumulation and leaching of heavy metals. *J. Environ. Quai.* 32: 1939-1954.

**SEREGIN I.V., IVANOV V.B., 2001** - Physiological aspects of cadmium and lead toxic effects on higher plants. *Russ. J. Plant Physiol.* 48 (4) ; pp. 606-630.

**SERVANT J M., 1975:** Etude pédologique des sols halomorphes. Thèse. Doc. Uni. Utilisation de substrats sableux et d'eaux saumâtres. Thèse de doctorat.

**SHAH, K. ET NONGKYNRIH, J.M. 2007.** Metal hyperaccumulation and bioremediation. *Biologia Plantarum* 51, 618-634

**SHAKIL M.,,ABDUL WAHID E., ABDUL WAHID.,2004**-comparative morphological and physiological responses of green gram genotypes to salinity applied at different growth stages. *Bot.Bull.Acad.sin* 46 :135-142

**SIMMONS JA, WS CURRIE, KN ESHLEMAN, K KUERS, S MONTELEONE, TL NEGLEY, BR POHLAD & CL THOMAS. 2008.** Forest to reclaimed mine land use change leads to altered ecosystem structure and function. *Ecological Applications* 18, 104-118. sodium and low pH. *Plant and Soil*, 259, 201-208.

**Small, E., Catling, P.M. (2000).** Les cultures médicinales canadiennes. Presses scientifiques du CNRC, Ottawa (Ontario), Canada. 281

**SOLTANI A., HADJI M., GRIGNON C., 1990:** Recherches des facteurs limitant la nutrition minérale de l'orge en milieu salé, *Agronomie* 10: 857–866.

**STIBORVA M.M., DOUBRAVOU A.A., BREZINOVA E., FRIEDRICHA A., 1986** - Effect of heavy ions on growth and biochemical characteristics of photosynthesis of barley. *Photosynthetica* 20 ; pp. 418-425.

**SUTHERSAN, S.S. 1996.** Remediation Engineering: Design Concepts. CRC Press, Boca Raton, Florida, 384 p.

**SZABOLCS I., 1994 :** Soils and salinization. In: Pessarakli, M. (Ed.), *Handbook of Plant and Crop Stress*. Marcel Dekker, New York: 3-11.

## Références bibliographiques

---

**Tiller KG and Merry RH ,1981.** Copper pollution of agricultural soils. In: Copper in soils and plants Eds Loneragan JF, Robson AD and Graham RD, Academic Press, pp. 25–45

**TOHGE T., MATSUI K., OHME-TAKAGI M., YAMAZAKI M. AND SAITO K. ENHANCED RADICAL SCAVENGING ACTIVITY OF GENETICALLY MODIFIED ARABIDOPSIS SEEDS. BIOTECHNOL. LETT. 2005; 27: 297-303.** tolerance in plants. II: Copper tolerance in normal populations of different plant species.

**TREMBLIN G., 2000 :** Comportement auto-écologique de *Halopeplis amplexicaulis*: plante pionnière des sebkhas de l'ouest algérien. *Sécheresse*.11 (2): 109-116.

### V

**VON WIREN N., ROMHELD V., SHIOIRI T., MARSCHNER H., 1995.** Competition between **VULKAN R., ZHAO F.J., BARBOSA-JEFFERSON V., PRESTON S., PATON G.I., MCGRATH S.P., 2000.** Contamination par des métaux lourds.

### W

**WAINWRIGHT S.J., WOOLHOUSE H.W., 1977 -** Some physiological aspects of copper and zinc tolerance in *Agrotis tenuis* Sibth : Cell elongation and membrane damage. *J. Exp. Bot.* 28, pp. 1029-1036.

**WANG Q. R., CUI Y. S., LIU X. M., DONG Y. T. AND CHRISTIE P. (2003).** Soil contamination **WHITELEY GM & S WILLIAMS. 1993.** Effects of treatment of metalliferous mine spoil with **WONG MH. 2003.** Ecological restoration of mine degraded soils, with emphasis on metal contaminated soils. *Chemosphere* 50, 775-780.

### X

**XUAN Y., SCHEUERMANN E.B., MEDA A.R., HAYEN H., VON WIREN N., WEBER G., 2006.** Separation and identification of phyto siderophores and their metal complexes in plants.

### Y

**YRUELA I., 2005.** Copper in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 17, 145-156.

**Yahiaoui K, 1999.** Caractérisation physico-chimique et évolution du brunissement de la datte

### Z

**ZID E., BOUKHERIS M., 1977:** Quelques aspects de tolérance de l'atriple *halimus* L. en chlorure de sodium, multiplication, composition minéraux. *Oecol. Plant.* 12 : 351.



***Annexe***