



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Larbi Tebessi-Tébessa

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

Département des Êtres Vivants

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master en Science biologique

Domaine: Sciences de la Nature et de la Vie

Option: Ecophysiologie Végétale

THÈME :

Évaluation des teneurs en polyphénols totaux *d'Atriplex halimus* dans un sol pollué

Présenté et soutenu par :

Ben Dar Naïma

Tag khaoula

Devant le jury :

Dr. DEKAK Ahmed	MCA	Université de Tébessa	Examineur
Dr. SOUABI Hana	MCA	Université de Tébessa	Promotrice
Pr. MÂALEM Souhil	Professeur	Université de Tébessa	Président

Date de soutenance : 07/06/2022

Année universitaire 2021/2022



Résumé

La contamination des sols par les métaux lourds a des conséquences très graves sur les écosystèmes. Ces éléments sont par nature non biodégradables, et sont d'une forte toxicité environnementale qui peut être impliquée dans de nombreuses maladies. Les espèces halophiles de la famille des chénopodiacées s'adaptent bien aux conditions environnementales difficiles et possèdent des propriétés d'accumulation des métaux lourds. Dans ce cadre, nous avons étudié l'effet des métaux lourds sur l'*Atriplex halimus*. Cette espèce est cultivée sous une serre contrôlée pendant une période de 3 mois, arrosée deux fois par semaine avec l'eau distillée et une fois par semaine avec la solution nutritive, puis traitées pendant 21 jour avec une solution métallique à base de plomb et zinc à des concentrations croissantes : 0, 2000, 4000, 6000, 8000 ppm et à base de cadmium à des concentrations croissantes : 0, 500, 1000, 1500 et 2000 ppm.

L'étude du comportement biochimique consiste à analyser les paramètres suivants : la teneur en phénols totaux et en flavonoïdes.

Les résultats montrent une légère augmentation non significative de la teneur en phénols totaux dans les feuilles de la plante *Atriplex halimus* et une augmentation significative de la teneur en flavonoïdes dans les feuilles de la plante *Atriplex halimus*.

Les résultats obtenus sont en faveur de l'implication de l'*Atriplex halimus* en un projet de phytoremédiation pour dépolluer les sols contaminés.

Mots clés : *Atriplex halimus*, métaux lourds, phénols totaux, flavonoïdes, pollution des sols.

Abstract

Soil contamination with heavy metals has very serious consequences for ecosystems. These elements are by nature non-biodegradable, and are of high environmental toxicity that can be involved in many diseases. The salt-loving species of the family chenopodiaceae adapts well to harsh environmental conditions and has heavy metal accumulation properties. In this context, we studied the effect of heavy metals on *Atriplex halimus*. These specie under controlled in a glass house for a period of 3 month, watered twice a week with distilled water and once a week with a nutrient solution, then treated for 21 days with a metal solution based on lead and zinc in inceasing concentration: 0, 2000, 4000, 6000, 8000 ppm et based on cadmium in increasing concentration: 0, 500, 1000, 1500, 2000 ppm.

The study of biochemical parameters consists of analyzing; the content of total phenols and flavonoids.

The results show a slight decrease inthe content of total phenols in the leaves of *Atriplex halimus* plantand a significant decrease inthe content of flavonoids in the leaves of *Atriplex halimus* plant.

The results obtained are in favor of the involvement of *Atriplex halimus* in a phytoremediation project to clean up contaminated soils.

Key words: *Atriplex halimus*, heavy metals, total phenols, flavonoids, soil pollution.

ملخص

يترتب عن تلوث التربة بالمعادن الثقيلة عواقب خطيرة جدا على الانظمة البيئية، هذه العناصر بطبيعتها غير قابلة للتحلل البيولوجي، و تعتبر ذات سمية بيئية عالية يمكن أن تشارك في العديد من الأمراض. تتكيف الأنواع المحبة للملوحة من عائلة *écaïdoponéhc* جيدا مع الظروف البيئية القاسية وله خصائص تراكم المعادن الثقيلة. في هذا السياق قمنا بدراسة تأثير المعادن الثقيلة على القطف الملحي *Atriplex halimus*. زرع تحت المراقبة في بيت زجاجي لمدة 3 أشهر، سقي مرتين في الأسبوع بالماء المقطر و مرة واحدة في الأسبوع بالمحلول المعدني ، ثم عولج لمدة 21 يوما بمحلول معدني يعتمد على نترات الرصاص والزنك بتركيزات متزايدة 0 ، 2000، 4000، 6000، 8000 جزء في المليون و يعتمد على الكاديوم بتركيزات متزايدة 0، 500، 1000، 1500، 2000 جزء من المليون.

دراسة السلوك البيوكيميائي للقطف الملحي يعتمد على تحليل المعايير التالية : محتوى الفينولات و الفلافونويد.

أظهرت النتائج زيادة طفيفة في تراكم الفينولات في أوراق نبات *Atriplex halimus* و زيادة معتبرة في تراكم الفلافونويد في أوراق نبات *Atriplex halimus*.

النتائج التي تم الحصول عليها تؤهل نبات *Atriplex halimus* أن يكون ضمن مشروع المعالجة النباتية لتطهير التربة الملوثة.

الكلمات المفتاحية: قطف ملحي، المعادن الثقيلة، فينولات، فلافونويدات، تلوث التربة.

Dédicaces

Tout d'abord je donne ma dédicace

À ma mère, mon amour de cœur, la première et principale raison

D'être ici aujourd'hui, ma plus grande force et mon soutien dans

Cette vie... Merci,

À mon cher frère et à toute ma famille

À mon binôme et tous mes amis.

Et bien sûr à notre encadreur

Naïma. B

Dédicaces

*Je dédie ce travail à mes parents et mes frères
À mon binôme et toutes mes amies et collègues.*

À toute qui m'ont encouragé,

Et bien sur notre encadreur.

Khaoula. J

Remerciements

Nous tenons à remercier tout d'abord

*Allah, si puissant, si grand, si judicieux, si généreux, qui nous a
Facilité le chemin et nous a aidés et donné la volonté et la santé*

Pour terminer ce travail.

*La première personne que nous tenons à remercier est notre promotrice Dr
SOUAD Hana, pour son orientation. Nous avons eu le grand plaisir de
travailler sous leur direction. Nous exprimons nos profonds remerciements
également aux membres de jury, Pr MÂALEM Souhil et Dr DEKAK Ahmed,
Nous remercions nos parents sans qui, nous n'aurions jamais pu réaliser tout ce
parcours. Notre sincère reconnaissance à nos enseignants du département : Des
êtres vivants. Enfin nous remercions tous ceux et celles qui, de près ou de loin, ont
contribué à la réalisation de ce travail.*

TABLE DES MATIÈRES

Résumé	
Abstract	
ملخص	
Dédicace	
Remerciements	
Table des matières	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Listes d'abréviations	
Introduction générale	1
PARTIE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE	
Chapitre 01 : <i>Atriplex halimus</i>	
1. Généralité	6
2. Origine de l' <i>Atriplex halimus</i>	6
3. Répartition Géographique	6
3.1. Répartition dans le monde	6
3.2. Répartition en Afrique	7
3.3. Répartition en Algérie	8
4. Description botanique	9
5. Morphologie de l' <i>Atripelx halimus</i>	10
6. Systématique	11

7. Exigence écologique	12
8. Importance économiques et agronomique	13
8.1. Importance économique	13
8.2. Importance agronomique	13
9. Utilisation de l' <i>Atriplex halimus</i>	14
9.1. Utilisation pastorale	14
9.1. Utilisation en alimentation humaine et en phytothérapie	15
Chapitre 02 : Les composés phénoliques	
1. Généralité	17
2. Définition et caractéristiques	17
3. Localisation des composés phénoliques	18
4. Principale classe des composées phénoliques	19
4.1. Les acides phénoliques	19
4.1.1. Les acides hydroxybenzoïques	19
4.1.2. Les acides hydroxycinnamiques	19
4.2. Flavonoïdes	20
4.3. Les tannins	20
5. Importance des composées phénoliques	21
5.1. La résistance des phytoalexines	21
5.2. Modification de substrats phénoliques	21
5.3. L'activité antimicrobienne	22
5.4. Le renforcement des parois des cellules végétales	22

5.5. La modulation des réactions de défense	22
5.6. La fonction protectrice	22
Chapitre 03 : La pollution de sol	
1. Généralité	25
2. Définition	25
3. Les causes de la pollution de sol	27
3.1. La pollution de sol par les métaux lourds dans le sol	27
3.2. Les formes de cadmium, plomb et zinc dans le sol	28
3.3. Toxicité des métaux lourds	28
4. Effet de la pollution de sol	30
5. Conséquence de la pollution de sol	30
PARTIE II : ÉTUDE EXPÉRIMENTAL	
Chapitre 01 : Matériel et méthodes	
1. Matériel et méthodes	35
1.1. Matériel végétal	35
1.2. Préparation du substrat (sol)	35
1.3. Mise en germination et repiquage	35
1.4. L'arrosage	36
1.5. Protection de semis	37
1.6. Application du stress	37
1.7. Dispositif expérimental	37
1.2. Méthodes	39

2.1. Prélèvement et préparation du matériel végétal pour les analyses	39
2.2. Paramètres étudiés	39
a. Contenu phénolique total	39
a.1. Principe de la réaction	39
a.2. Mode opératoire	40
a.3. Procédure	41
b. Dosages des flavonoïdes	41
b.1. Principe	41
b.2. Mode opératoire	41
2.3. Traitement de données et analyse statistique	42
Chapire 02 : Résultats et discussion	
1. Résultats	45
1.1. Influence du zinc sur la teneur en polyphénols totaux	45
1.2. Influence du plomb sur la teneur en polyphénols totaux	46
1.3. Influence du cadmium sur la teneur en polyphénols totaux	47
1.4. Influence du zinc sur la teneur en flavonoïdes	48
1.5. Influence du plomb sur la teneur en flavonoïdes	49
1.6. Influence du cadmium sur la teneur en flavonoïdes	50
2. Discussion	51
Conclusion	
Référence bibliographique	
	57

LISTE DES TABLEAUX

Tableaux N°	Titre	Page
1	Nombre approximatif des espèces d' <i>Atriplex</i> dans diverses régions et pays arides et semis arides du monde	7
2	Les <i>Atriplex</i> en Afrique du nord	8
3	Répartition des différentes espèces d' <i>Atriplex</i> dans l'Algérie	9
4	Composition de la solution nutritive de Hoagland	36
5	Dispositif expérimental	39
6	Analyse de la variance de la teneur en polyphénols totaux l' <i>Atriplex halimus</i> stressée au zinc	45
7	Analyse de la variance de la teneur en polyphénols totaux l' <i>Atriplex halimus</i> stressée au plomb	46
8	Analyse de la variance de la teneur en polyphénols totaux l' <i>Atriplex halimus</i> stressée au cadmium.	47
9	Analyse de la variance de la teneur en flavonoïdes l' <i>Atriplex halimus</i> stressée au zinc	48
10	Analyse de la variance de la teneur en flavonoïdes l' <i>Atriplex halimus</i> stressée au plomb	49
11	Analyse de la variance de la teneur en flavonoïdes l' <i>Atriplex halimus</i> stressée au cadmium	50

LISTE DES FIGURES

Figure N°	Titre	Page
1	Touffes d' <i>Atriplex halimus</i> de la région de Tébessa	10
2	Synthèse et activations des acides phénoliques	18
3	Quelques exemples d'acides phénols dérivés de l'acide benzoïque	19
4	Quelques exemples d'acides phénols dérivés de l'acide Cinnamique	20
5	Structure générale d'un flavonoïde	20
6	Exemple d'un tanin hydrolysable (pentagalloylglucose à gauche) et un autre Condensé (proanthocyanidine R1, R2 = H, OH à droite)	21
7	Contamination diffuse et locale	26
8	Le cheminement des métaux lourds dans l'environnement	29
9	Graines et touffes d' <i>Atriplex halimus</i> de la région de Tébessa	35
10	Plantule d' <i>Atriplex halimus</i> après l'arrosage à l'eau distillée et Solution nutritive	36
11	Protection des semis	37
12	Dispositif expérimental des plantules d' <i>Atriplex halimus</i> stressée par zinc, plomb et cadmium	38
13	Homogénéisateur et centrifugeuse à 5min/5000g	40
14	Balance d'analyse précision	40
15	Spectrophotomètre UV	42
16	Teneur en polyphénols totaux des feuilles de l' <i>Atriplex halimus</i> stressée au zinc.	46
17	Teneur en polyphénols totaux des feuilles de l' <i>Atriplex halimus</i> stressée au plomb.	47
18	Teneur en polyphénols totaux des feuilles de l' <i>Atriplex halimus</i> stressée au cadmium.	48
19	Teneur en flavonoïdes des feuilles de l' <i>Atriplex halimus</i> stressée au zinc.	49
20	Teneur en flavonoïdes des feuilles de l' <i>Atriplex halimus</i> stressée	50

	au plomb.	
21	Teneur en flavonoïdes des feuilles de l'<i>Atriplex halimus</i> stressée au cadmium.	51

LISTE D'ABRÉVIATION

A: *Atriplex*

Ac: Acide

ADN: Acide désoxyribonucléique

Ag: L'argent

AG: Acide gallique

AlCl₃: Chlorure d'aluminium

ARN: Acide ribonucléique

B (oH) 3: Acide borique

CAD: Cinnamyl alcool déshydrogénase

Cd: Cadmium

CdCl₂: Chlorure de cadmium

CdCO₃: Carbonate de cadmium

CdHCO₃: Cadmium Hydrogen Carbonate

CdSO₄: Sulfate de cadmium

Cd₂: Dicadmium

CO: Monoxyde de carbone

COOH: Acide carboxylique

CO₂: Le dioxyde de carbone

Cr: Chrome

Cu: Cuivre

Cu SO₄ 5H₂O: Sulfate de cuivre

C₂H₃NaO₂: Acétate de sodium

DDI: Degré de liberté

DPPH: (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl)

EAG: Équivalent de catechine

EC: Équivalent d'Acide Gallique

ERO: Dérivé réactif de l'oxygène

ETM: Éléments Traces Métalliques

EQ: Équivalent de Quercétine

f: fréquence

FCR: Folin Ciocalteu Reagent

Fe: Fer

Fe (C₄H₄O₆), 2H₂O: Ferric tartrate

FPGN: Fond pédo-géochimique (naturel)

h: heure

ha: hectare

HCl: Acide chlorhydrique

Hg: Mercure

H₂O: L'eau

H₂O₂: Peroxyde d'hydrogène

H₃Pmo₁₂O₄₀: Acide phosphomolybdique

H₃PW₁₂O₄₀: Acide phosphotungstique

g: gramme

M: Molaire

MF: Matière fraîche

mg: Miligramme

MgSo₄, 7H₂O: Magnesium sulfate heptahydrate

min: Minute

ml: millilitre

mm: Millimètre

Mn: Molybdenum

MnCl₂, 4H₂O: Manganese chloride tetrahydrate

Mo: Molybdène

MoO₃: Trioxyde de molybdène

Mo₈O₂₃: Molybdène

MS: Matière Sèche

Na₂CO₃: Carbonatede sodium

(NH₄)₂HPO₄: Phosphate de diammonium

Ni: Nickel

(NO₃)₂ Ca 4H₂O: Nitrate de calcium

nm: Nanomètre

Kg: kilogramme

KNO₃: Nitrate de potassium

O: Radical superoxyde

OH: Radical hydroxyl

Pb: Plomb

PB₂₊: Plomb (II) ion

PbCl: Chlorure de plomb(II)

PbCO₃: Carbonate de plomb

Pb(OH) 2: Hydroxyde de plomb
PbO: Oxyde de plomb(II)
Pb(PO₄)₂: Phosphate de plomb
PbSO₄: Sulfate de plomb
Ph: Potentiel hydrogène
POP: Polluants organiques persistants
Ppm: Partie par million
Pr: Percentile Ranks
R: Radical
ROS: Reactive oxygen species
R1=H, R2=H: Acide comarique
R1=H, R2=OH: Acide caféique
R1=H, R2=OCH₃: Acide férulique
R1=OCH₃, R2=OCH₃: Acide sinamisuque
Se: Sélénium
Sn: Étain
SP: Espèce
UF: Unité fonctionnelle
UV: Ultra-violet
W8O₂₃: Oxydes de tungstène
XIXe: 19^{ème}
XI: Excel
Zn: Zinc
ZnCO₃: Smithsonite
ZnFe₂O₄: Ferrites de zinc
ZnHCO₃: Zinc carbonate
Zn₃(PO₄)₂: Phosphate de zinc
Zn SO₄: Sulfate de zinc
Zn SO₄ 7H₂O: Sulfate de zinc heptahydrate
Zn₂SiO₄: Willémite
Zn²⁺: Zinc (II) ion
µl: Microlitre

Introduction

générale

Introduction générale

En quelques dizaines d'années, la pollution environnementale est devenue l'un des principaux problèmes affectant l'avenir de notre planète. Les métaux lourds sont parmi les principaux polluants, qui s'accumulent dans le sol sous l'effet de la contamination de l'environnement. En outre, ils sont continuellement ajoutés au sol par diverses activités : en agriculture par épandage de pesticides ou dans l'industrie métallurgique ou par ruissellement (**Khedim, 2018**).

Ces substances ont un impact négatif sur l'environnement, mais également sur la santé humaine (**Souahi et al., 2021**). Dans certains écosystèmes, ces substances chimiques peuvent être à l'origine de la disparition de certaines espèces animales et/ou végétales et, en conséquence, provoquer des dysfonctionnements dans la chaîne alimentaire (faible biodiversité) (**Gold, 2002**).

Tous les éléments métalliques à l'état de traces sont potentiellement toxiques pour les plantes en fonction de leur concentration dans l'environnement et du fait qu'ils soient essentiels ou non pour la plante (**Lotmani et Mesnoua, 2011**).

Au contraire des polluants organiques, le plomb, le cadmium, le cuivre, le zinc et le mercure ne peuvent se biodégrader et, par conséquent, ils persistent longtemps dans l'environnement (**Wade et al., 1993**). Ces métaux se trouvent naturellement en très faibles concentrations dans les tissus vivants, hautement écotoxique et susceptible d'être impliqué dans de nombreuses pathologies (maladies du système nerveux central, du foie, des reins, mais également des cancers et malformations embryonnaires) (**Abrahams, 2002 ; Adriano, 2001**).

Pour atténuer les effets environnementaux, les méthodes biologiques utilisées à l'heure actuelle pour traiter les sols pollués, comme la phytoremédiation, l'utilisation de végétaux pour enlever ou dégrader les métaux lourds dans un sol contaminé (**Sutherzan, 2001**). Cette technique d'assainissement des sols pollués repose sur la capacité de certains végétaux à retirer les métaux du sol, et les transporter et les concentrer dans leurs parties aériennes, qui seront ensuite pêchées et transformées (**Raskin, 1996 ; Blaylock et al., 1997 ; Robinson et al., 1997 ; Anderson et al., 1998 ; Ebbs and Kochian, 1998 ; Robinson et al., 1998 ; Blaylock, 2000 ; Kayser et al., 2000 ; Lombi et al., 2001 ; Schwartz et al., 2003 ; Wenzel et al., 2003 ; Luo et al., 2006 ; Schwartz et al., 2006 ; Evangelou et al., 2007 ; Komárek et al., 2007 ; Komárek et al., 2008**).

Introduction générale

En conditions stressantes, les plantes peuvent réagir en mettant en œuvre des mécanismes, entre autres, physiologiques (Souahi, 2021 ; Parida et Das, 2005 ; Martinez et al., 2007) et biochimiques (Souahi et al., 2017 ; Attia, 2007). De cette façon, la synthèse de composés organiques favoriserait l'osmoprotection (Rathinasabapathi et al., 2000) ou la régulation osmotique (EI- Shintinawy et Hassanein, 2001).

Beaucoup d'espèces du genre *Atriplex* sont bien adaptées à des conditions environnementales extrêmes et peuvent posséder des propriétés d'accumulation de métaux lourds (Martinez et al., 2003).

Atriplex halimus est une plante de la famille chénopodiacées (Le Hourérou, 1992) largement répandue en Algérie, en particulier dans les zones arides et semi-arides et utilisées pour l'alimentation humaine et animale. Elle est capable de résister aux conditions environnementales telles que la salinité et la sécheresse (Bajji et al., 1998a ; Le Houerou, 2000). Selon de récentes études, cette espèce est présente dans les sols pollués par les métaux lourds, elle peut tolérer un taux élevé de cadmium, de zinc et de cuivre. (Lefèvre et al., 2009 ; Lotmani et Mesnoua, 2011 ; Lotmani et al., 2011 ; Mateos-Naranjo et al., 2013 ; Nedjimi et Daoud, 2009).

L'objectif de travail

L'objectif principal de ce travail consiste à étudier et analyser l'effet de stress métalliques de zinc, du plomb et de cadmium à différentes concentrations sur deux paramètres biochimiques (phénols totaux et flavonoïdes) au niveau des feuilles de l'*Atriplex halimus*.

Notre travail comporte deux grandes parties :

Une partie théorique (synthèse bibliographique) qui est subdivisée de trois chapitres :

- **Le premier chapitre** : L'*Atriplex halimus*
- **Le deuxième chapitre** : Les composés phénoliques
- **Le troisième chapitre** : La pollution de sol

Une partie expérimentale qui est composée de deux chapitres :

- Le premier présente le matériel et les méthodes utilisés dans notre travail.
- Les résultats obtenus et la discussion sont présentés dans le deuxième chapitre.

Partie I

Synthèse

bibliographique

Chapitre 01

Atriplex halimus

1. Généralité

Les *Atriplexes* sont des plantes arbustives vivaces de la famille des chenopodiacées. Ces sont considérées comme des plantes fourragères. Les espèces des *Atriplex* qui ont suscité l'intérêt spécial sont: *Atriplex halimus*; *Atriplex glauca*; *Atriplex malvana*; *repanda*; *atacamensis*; *mollis*; *semibaccata*; *canescens*; *vesicaria*. Mais il n'y a que cinq espèces qui ont un véritable rôle pratique dans un futur proche. Il comporte plusieurs espèces caractérisées par leur morphologie, leur cycle de développement et leur adaptation écologique. Ces espèces sont distribuées dans la plupart des régions du monde et leur nombre total est estimé à 400 espèces, 48 d'entre eux concernent spécifiquement les régions du bassin méditerranéen (Mâalem et al., 2011).

2. Origine de l'*Atriplex halimus*

On connaît peu l'origine de cette espèce. (Kinet et al., 1998), Certains supposent que l'espèce est originaire d'Afrique du Nord (Le Houérou, 1980). C'est aussi une plante indigène de l'Iran (Nazari, 1997). D'autres pensent que c'est d'origine australienne et s'étend aux régions arides et semi-arides du monde. Des exemples de ce type existent aussi dans les régions polaires, mais en très petit nombre. (Par-Smith, 1982; Rosas, 1989).

Elle couvre la côte méditerranéenne de l'Europe et les terres gypso-salines de l'Espagne (Dutuit, 1999). Elle semble bien adaptée à l'environnement, car son rendement fourrager est relativement stable tout au long de l'année (Rahmoune; Paul ; Dreze et al., 2000).

3. Répartition Géographique

3.1. Répartition dans le monde

Il y a des *Atriplexes* dans la plupart des régions du monde. Le tableau ci-dessous résume le nombre approximatif de ces espèces dans diverses régions arides et semis arides ainsi que dans divers pays du monde. (Mâalem, 2011).

Tableau 01. Nombre approximatif des espèces d’*Atriplex* dans diverses régions et pays arides et semis arides du monde (Le Houérou, 1992).

Pays ou régions	Nombre d'espèces et/ou sous espèces	Pays ou régions	Nombre d'espèces et/ou sous espèce
Etats-Unis	110	Baja Californie (Mexique)	25
Australie	78	Afrique du Nord	22
B. méditerranéen	50	Texas	20
Europe	40	Afrique du sud	20
EX. URSS	40	Iran	20
Proche orient	36	Syrie	18
Mexique	35	Palestine/Jordanie	17
Argentine	35	Algérie / Tunisie	17
Californie	32	Bolivie / Pérou	16
Chili	30		

3.2. Réparation en Afrique

En Afrique du Nord, le genre *Atriplex* est composé de 15 espèces spontanées, deux espèces naturelles et deux espèces introduites. Elles sont divisées en neuf espèces vivaces, une espèce biannuelle et neuf espèces annuelles. (Mâalem, 2011).

Tableau 02. Les *Atriplex* en Afrique du nord (Mâalem, 2011).

Espèces spontanées		Espèces naturalisées		Espèces Introduites
Annuelles	Vivaces	Annuelles	Biannuelles	Vivaces
A.chenopodioides	<i>A.colore</i>	A.inflataA.semibaccata		<i>A.nummularia</i>
A.dimorphostegia	<i>A.coriacca</i>			<i>A.lentiformis</i>
A.hastata	<i>A.glauca</i>			
A.littoralis	<i>A.halimus</i>			
A.patula	<i>A.malvana</i>			
A.rosea	<i>A.mollis</i>			
A.tatarica	<i>A.portulacoides</i>			
A.tornabeni				

3.3. Répartition en Algérie

En Algérie, *l'Atriplex* est spontané au stade bioclimatique semi-aride et les zones les plus étendues correspondent à ce qu'on appelle les zones steppiques (Batna, Biskra, Boussaâda, Djelfa, Saïda, M'sila, Tébessa, Tiaret). (Berri, 2008).

Tableau 03. Répartition des différentes espèces d'*Atriplex* dans l'Algérie (Quezel et Santa, 1962).

Espèces	Nom	Localisation
Annuelles (Diffèrent généralement par la forme des feuilles, du port et des valves fructifères)	<i>A. Chenopodioides</i> Batt.	Bouhanifia (Mascara) (très rare)
	<i>A. littoralis</i> L.	Environ d'Alger (rare).
	<i>A. hastata</i> L.	Assez commune dans le Tell et très rare ailleurs.
	<i>A. patula</i> L.	Assez commune dans le Tell et très rare à Aflou.
	<i>A. tatarica</i> L.	Annaba et Sétif (très rare)
	<i>A. rosea</i> L.	Biskra et sur le littoral d'Alger et d'Oran (très rare)
	<i>A. dimorphostegia</i> Kar et Kir	Sahara septentrional (assez commune), Sahara central (rare).
	<i>A. tornabeni</i> Tineo.	Sahel d'Alger, Golfe D'Arzew (très rare).
Vivaces)Diffèrent généralement par la forme des feuilles, la taille de l'arbrisseau, le port des tiges et l'aspect du périanthe(<i>A. portulacoides</i> L.	Assez commune dans le Tel
	<i>A. halimus</i> L.	Commune dans toutes l'Algérie.
	<i>A. mollis</i> Desf	Biskra et Oued-el-Khir (très rare).
	<i>A. coriacea</i> Forsk.	
	<i>A. glauca</i> L.	Commune en Algérie.

4. Description botanique

Atriplex halimus L est une espèce de formation steppique saline que l'on trouve au large des côtes, où des conditions favorables sont réunies avec des polymorphismes en raison de la

salinité, il se caractérise par des feuilles assez grandes de 2-5 cm, généralement 2 fois plus longues que larges, un peu épaisses. Elles sont ovales, légèrement sinueuses et dentelées. La fleur est monoïque à épis denses, courts, nus et regroupés (**Ozenda, 2004**).



Figure 01. Touffes d'*Atriplex halimus* de la région de Tébessa (Fares et Sédairia, 2021)

Dimensions :

- Taille plante : 1-2m
- Type végétatif : vivace
- Floraison : d'Août à Septembre
- Altitudes : 0 à 1-2 mètres
- Répartition : Maritim (**florealpes, 2009**)

5. Morphologie de l'*Atriplex halimus*

Les graines d'*Atriplex halimus* sont des akènes (**Piotto et al., 2003**), de 0,9 à 1,1 de diamètre (**Castra et al., 1990**), lenticulaires, noires et disposées verticalement (sauf dans les fleurs hermaphrodites où elles sont horizontales) (**Quezel et Santa, 1962**). Elles sont entourées de bractées robustes et persistantes qui empêchent la germination, conduisant à des problèmes d'imperméabilité à l'eau et aux gaz, Ces bractées contiennent également des matières qui inhibent la germination, Celles-ci contiennent également des substances qui empêchent la germination (**Piotto et al., 2003 ; Ungar et Ajmel, 2001**), en outre, ces bractées contiennent ont montré que l'élimination de ces bractées accroît la germination de 35 à 98%. Leur collecte est facilitée par le fait que les fruits demeurent attachés à la plante pendant une longue période, du début de l'hiver jusqu'au printemps (**Piotto et al., 2003**). Par contre, c'est très léger (**Pitt, 2004**), leur propagation est due au vent ou aux animaux, elles se rangent habituellement bien s'ils sont entreposés de manière sèche et froide, elles demeureront viables

de 3 à 10 ans et conserveront une capacité de germination estimée entre 50 et 90 % (**Piotto et al., 2003**).

L'*Atriplex halimus* est une plante polymorphe, ce polymorphisme morphologique apparaît comme une caractéristique des chenopodiacées (**Ozenda, 1983**), Celle-ci est évidente dans la taille et la forme des feuilles, des valves fructières, des graines et dans la production de biomasse.

L'*Atriplex* adulte peut atteindre 2 m de hauteur 1 à 3 m de diamètre, très rameux ayant un aspect blanc argenté, à tige dressée, à racine blanchâtre s'orientant horizontalement, pivotante en surface, pouvant atteindre 3 à 5 fois la longueur de la tige, les feuilles sont alternes, mais nettement pétiolées, le limbe foliaire est entièrement ou légèrement sécurisé, parfois aigu ou sub-nécroné au sommet mesurant 0.5 à 1 cm de largeur et de 2 à 4 cm de longueur. (**Benrebaha, 1987 ; Osmond et al., 1978**).

Les fleurs de l'*Atriplex halimus* sont monoïques, aux glomérules multiflores, formant des épis denses et courts, nus regroupés en panicules terminales plus ou moins feuillues.

6. Systématique

En Arabe: G'ttaf, (*Legtaf*) en Algérie, Chenane en Maroc, Aramass (**Quezel et Santa, 1962**), Hachichat Ezzaj, Ghassoul el Aachebi (**Choukr Allah et al., 1997**).

En Français : Pourpier de mer, Arroche maritime, Arroche sauvage, Arroche halime (**Picard et al., 1982**), épinarde de mer, nommé localement dans le sud de la France.

En Anglais: Saltbush. Mediterranean, Saltbush (**Ortiz et al., 2005**), Roghaata, Cape saltbush, Brakbos, Brak vaalbos, Soutbos, Vaalbosse, Aalbrak (**Anonyme, 2000**).

Atriplex halimus est un arbuste halophyte présentant une photosynthèse en C4 (**Martinez et al., 2003**). Les plantes C4 ont des caractéristiques anatomiques qui leur permettent de se métaboliser avec un haut rendement photosynthétique (augmentation du taux de CO₂). L'anatomie foliaire des plantes C4 s'appelle « Kranz », avec une gaine de grandes cellules entourant les tissus vasculaires, présentant une gaine de cellules de grandes dimensions qui entourent les tissus vasculaires. Les plantes C4 sont plus efficaces que les plantes C3 dans des conditions de sécheresse et de température élevées. (**Martinez et al., 2003**).

- Embranchement : Spermaphytes
- Sous embranchement : Angiospermes
- Classe : Dicotylédones

- Famille : Chénopodiaceae
- Genre : *Atriplex*
- Espèce : *Atriplex halimus*

L'*Atriplex halimus* L est un arbuste originaire d'Afrique du Nord dans lequel il est très abondant. (Kinet et al., 1998). Il s'étend aussi aux zones côtières méditerranéennes de l'Europe et à l'intérieur gitan-salin espagnol. *Atriplex halimus* L est une plante fourragère indigène qui supporte bien les conditions arides (sécheresse, salinité...) (Souayah et al., 1998). C'est un arbuste de 1 à 3 m de haut, très ramifié, formant des touffes jusqu'à 1-3 mètres de diamètre. Les feuilles sont alternes, pétiolées, plus à tout le moins charnues, recouvertes de poils vésiculaires blanchâtres, ovales, 2 à 5 centimètres de long et 0,5 à 1 centimètre de large. L'inflorescence est monoïque, en panicule d'épis, terminale et dépouillée. La souape de fructification est cornée à la base. Elle est de couleur roussâtre (Le Houérou, 1971; in Maalem, 2002) *Atriplex halimus* se compose de deux sous-espèces : *Atriplex halimus subsp halimus* et *Atriplex halimus subsp Schweifurthii* (Ziani, 2000 ; in Maalem, 2002).

7. Exigence Ecologique

Les *Atriplex* sont les espèces les plus intéressantes et les plus importantes pour les zones sèches et salées. Certaines espèces se présentent spontanément en Algérie, d'autres ont été introduites. *Atriplex nummularia*, rehaussé en Australie, a été introduit pendant la période coloniale. Entre 1970 et 1980, on a introduit d'autres espèces: *Atriplex ceneriensis*, *A leuoclada*, *A polycarpa*. D'importantes plantations à base d'*Atriplex canariensis*, *A nummularia*, *A leuoclada*, *A halimus* et *A polycarpa* ont été réalisées, dans le cadre d'une politique (Inra, 2006).

Les zones les plus importantes d'*Atriplex* sont les sols humides, sub-humides, semi-arides, arides et sahariens (Benrebiha, 1987). Les environnements extrêmes, comme les régions arides ou semi-arides où les précipitations sont souvent erratiques, sont les gîtes écologiques privilégiés pour la plupart des espèces du genre *Atriplex* (Benrebiha, 1992). Les *Atriplex* associés à d'autres espèces d'arbustes est adapté à l'installation de grandes réserves fourragères et constitue également un moyen de combattre l'érosion hydrique et éolienne (Ozenda, 1983).

Quant à sa répartition, *Atriplex halimus* se développe habituellement dans des zones caractérisées par des fortes précipitations (400 mm/an), dans les régions de la Méditerranée

occidentale comme la France ou l'Espagne. Sur les côtes atlantiques, alors que la sous-espèce *schweinfurthii* est adaptée aux zones arides (100-400 mm/an) des pays d'Afrique du Nord et de la Méditerranée orientale (**Le Houerou, 1992**). Beaucoup de bassin méditerranéen s'est asséchée entre 500 et 1000 ans avant le Christ (**Le Houerou, 1981**) ; et la sous-espèce *schweinfurthii* pourrait par la suite habiter ces régions.

D'autres facteurs peuvent influencer la distribution des diploïdes et des tétraploïdes chez *Atriplex halimus*. La sous-espèce *schweinfurthii* est souvent rencontrée sur les sols gypsifères ou salins, localisés dans les régions où les précipitations sont saisonnières (**Le Houerou, 1992**). La sous-espèce *schweinfurthii*, population des zones les plus arides pourrait être considérée comme exemple d'une meilleure adaptation de polyploïdes à des environnements extrêmes (**Stutz, 1989**).

Originaire d'Australie et trouvé dans les régions arides et semi-arides, a été introduit en Afrique du Nord à la fin du XIXe siècle (**Lutts et al., 2001**).

On trouve aussi cet arbuste dans des régions minières contaminées par des métaux lourds grâce à sa tolérance à la toxicité du métal, ils ont la possibilité de faire un choix écologique important et très intéressant (**Lutts et al., 2001**).

8. Importance économique et agronomique

8.1. Importance économique

Atriplex halimus est essentiellement utilisé en tant que plante fourragère. Son feuillage sempervirent, riche en protéines, est très apprécié pendant la longue période de sécheresse estivale tandis que les espèces herbacées ont disparu. Une bonne formation d'*Atriplex halimus* peut produire jusqu'à cinq tonnes de matière sèche par hectare par année sur des sols dégradés ou salins qui ne peuvent pas être utilisés pour d'autres cultures. On l'utilise aussi en phytothérapie dans la pharmacopée traditionnelle (**Dutuit et al., 1991**).

8.2. Importance agronomique

Dans les zones arides et semi-arides et méditerranéennes, le problème de la désertification est principalement lié au déclin des régions forestières à cause d'une exploitation incontrôlée, d'un incendie ou d'autres ravages, et la disparition de végétation dans les steppes champêtres. Le repeuplement avec des buissons fourragers est une bonne solution. Effectivement, ces plantes ont un système racinaire hautement développé qui leur permet d'utiliser les réserves

d'eau du sol de manière globale et constituent un réseau dense capable de rassembler le sol et de le rendre résistant à l'érosion (**Osmond et al., 1980**).

De plus, les formations à base d'arbustes fourragers forment un bon couvert végétatif avec un feuillage dense qui protège le sol contre les contraintes climatiques, sources d'érosion (précipitations, vent, grêle...). Elles grandissent rapidement et demandent peu de soins aux premiers stades de leur développement, En conséquence, leur exploitation peut commencer très vite. À cet égard, l'*Atriplex halimus* joue un rôle très important dans le repeuplement des zones méditerranéennes arides et semi-arides (**Dutuit et al., 1991**).

9. Utilisation de l'*Atriplex halimus*

9.1. Utilisation pastorale

Atriplex halimus est très intéressant en tant que plante fourragère dans les zones arides et semi-arides en raison de sa rusticité, sa bonne valeur fourragère, sa grande résistance à la sécheresse et sa capacité à supporter de hauts niveaux de salinité. Les épreuves effectuées par **Ziani (1970)** à Gabes (Tunisie) indiquent que les peuplements naturels d'*Atriplex halimus*, avec un chevauchement de 30%, devraient produire près de 10 tonnes de feuilles et de brindilles vertes par hectare ou près de 1500 UF/ha, sur des sols à basse salinité et sous des précipitations de 150 à 200 mm/an. Dans la région de Djelfa (Algérie), (**Nedjimi, 2012**) production mesurée de 2 à 3 tonnes de matière sèche par hectare en peuplements naturels d'*Atriplex halimus*. 1000 à 1500 UF/ha, avec des précipitations comprises entre 250 et 300 mm/an. La valeur énergétique des fourrages d'*A. halimus* varie entre 0,5 et 0,6 UF/kg MS soit, en moyenne, environ 0,15 UF/kg de matière fraîche. La quantité totale d'azote de la matière sèche varie de 10 à 25 % ou de 2,5 à 6 % de la matière fraîche. Il est important de noter que la valeur nutritive de cette espèce varie considérablement d'une saison à l'autre (**Le Houérou, 2004**).

Cependant, l'*Atriplex* est rarement consommé frais, mais très bien ingéré après séchage, en particulier au printemps ; il peut même être consommés sur place, 24 heures après leur coupure. Apparemment, le fanage n'est utile qu'au printemps et au début de l'été. À la fin de l'été, les animaux se nourrissent directement des arbustes. Les observations ont également montré qu'avant de consommer normalement, une longue période d'adaptation des animaux est nécessaire (**Nefzaoui et Chermiti, 1991**). Les feuilles d'*A. halimus* peuvent être récoltées et distribuées aux animaux dans les mangeoires, soit sous forme de nourriture exclusive, soit mélangées avec d'autres plantes comme *les Cactus* et *les Acacias*. Il convient d'éloigner le

plus possible le bétail de l'*Atriplex* afin d'apporter ces ressources supplémentaires en prévision de la courte période estivale et de constituer une réserve entre les années pour compenser les périodes de sécheresse anormalement longues (**Le Houérou, 2000**).

9.2. Utilisation en alimentation humaine et en phytothérapie

A. halimus est un buisson renommé pour la valeur nutritionnelle et énergétique de ses feuilles tendres non seulement pour le bétail, mais également pour la nourriture des nomades et de la population locale des steppes. D'ailleurs, au printemps, dans plusieurs régions en Algérie (Djelfa) et Tunisie (Gabès), les jeunes pousses des guettaf sont mangées par l'homme, les préparant comme des épinards. Bien que le piquant causé par l'enlèvement insuffisant de saponines pendant la cuisson ne rende pas cet aliment très savoureux, sa consommation reste très acceptable pour la population locale. *A. halimus* pourrait par conséquent fournir une nourriture précieuse aux animaux ainsi qu'aux humains lorsque les conditions naturelles sont particulièrement graves (**Francllet et Le Houérou, 1971**).

D'autres utilisations thérapeutiques sont envisageables. *A. halimus* sert également au traitement des inflammations urinaires (cystites) et des lithiases urinaires. Diurétique et dépuratif et draineur cutané et rénal, il accompagne toute alimentation nécessitant un drainage tissulaire et la désincrustation de déchets et de toxines (**Belouad, 2001**). Une étude chromatographique de l'extrait foliaire d'*Atriplex halimus* a révélé la présence de flavonoïdes. Ces composés remplissent d'importantes fonctions biologiques au sein de la plante. ; Ils participent à la coloration des fleurs, ce qui attire les insectes pollinisateurs, possèdent des propriétés fongicides et protègent la plante des attaques de ravageurs (**Benhammou et al., 2009**). En raison de leurs propriétés antioxydantes, certains flavonoïdes agissent sur les tissus hépatiques contre le cancer (**Emam, 2011**). La chromatographie alcaloïde a révélé la présence de berberine et de piperine chez *A. halimus*. La berbérine est un composé reconnu pour ses propriétés antimicrobiennes et anti-inflammatoires. On recommande aussi l'utilisation de l'*Atriplex* dans le traitement du paludisme (**Emam, 2011**). La pipérine et ses dérivés constituent des anticonvulsivants et des antiépileptiques efficaces (**Pei, 1983**).

Chapitre 02

Les composés phénoliques

1. Généralité

Les végétaux se protègent contre les micro-organismes pathogènes grâce à divers mécanismes de défense, dont les composés phénoliques constitutifs et les phytoalexines. Ces composés peuvent s'accumuler et jouer un rôle actif pour protéger les plantes. Leur mode d'action est fonction de leur activité antimicrobienne, à leur participation au renforcement des parois cellulaires des plantes et leur capacité de moduler et d'induire des réactions défensives de l'hôte (**Bailey, 1982**). Le clonage de gènes encodant les enzymes du métabolisme phénolique ouvre de nombreuses possibilités de manipulation afin d'améliorer l'efficacité des réactions défensives. Toutefois, les résultats obtenus jusqu'à présent ne permettent pas de définir le degré réel de participation des composés phénoliques dans la résistance des végétaux aux agents pathogènes (**Carver, 1994**).

2. Définition et caractéristiques

Le mot polyphénol est souvent employé en langage court et même dans les articles scientifiques ou de vulgarisation pour faire référence à tous les composés phénoliques végétaux. En fait, il devrait être réservé pour les molécules avec plusieurs fonctions phénoliques, (**Carver, 1994**) celui-ci excède alors les monophénols, pourtant abondante et importante dans les plantes. Distribués à grande échelle dans le règne végétal et abondant dans notre alimentation, les « composés phénoliques » sont aujourd'hui les composés phytochimiques les plus étudiés (**Knežević et al., 2012**). Selon **Hurtado-Fernandez et al., (2010)** beaucoup de travail a été présenté par la communauté scientifique qui se concentre sur :

- La structure chimique des phénols antioxydants présents dans divers aliments végétaux, plantes aromatiques et matériaux végétaux.
- Le rôle probable des composés phénoliques dans la prévention de différentes maladies associées au stress oxydatif comme les maladies cardiovasculaires et neuro-dégénératives et le cancer.
- Capacité de certaines catégories de composés phénoliques, notamment les flavonoïdes, de se lier à des protéines.
- La stabilisation des huiles alimentaires, la protection de la formation des saveurs et la stabilisation des saveurs.
- Préparation de compléments alimentaires.

Plus de 8000 composés naturels appartiennent à cette famille dont le nombre augmente constamment (Ignat *et al.*, 2011), ils possèdent en commun un noyau de benzène contenant au moins un groupe hydroxyle. On y trouve principalement des phénols simples, des acides phénoliques, des flavonoïdes, des tannins, des lignanes et des lignines. Ils peuvent être combinés à plusieurs résidus sucrés liés ou ils peuvent aussi être liés à d'autres composés chimiques, comme les acides carboxyliques, les amines ou les lipides, ou encore d'autres phénols existants (Martin, Andrantsitohaina, 2002).

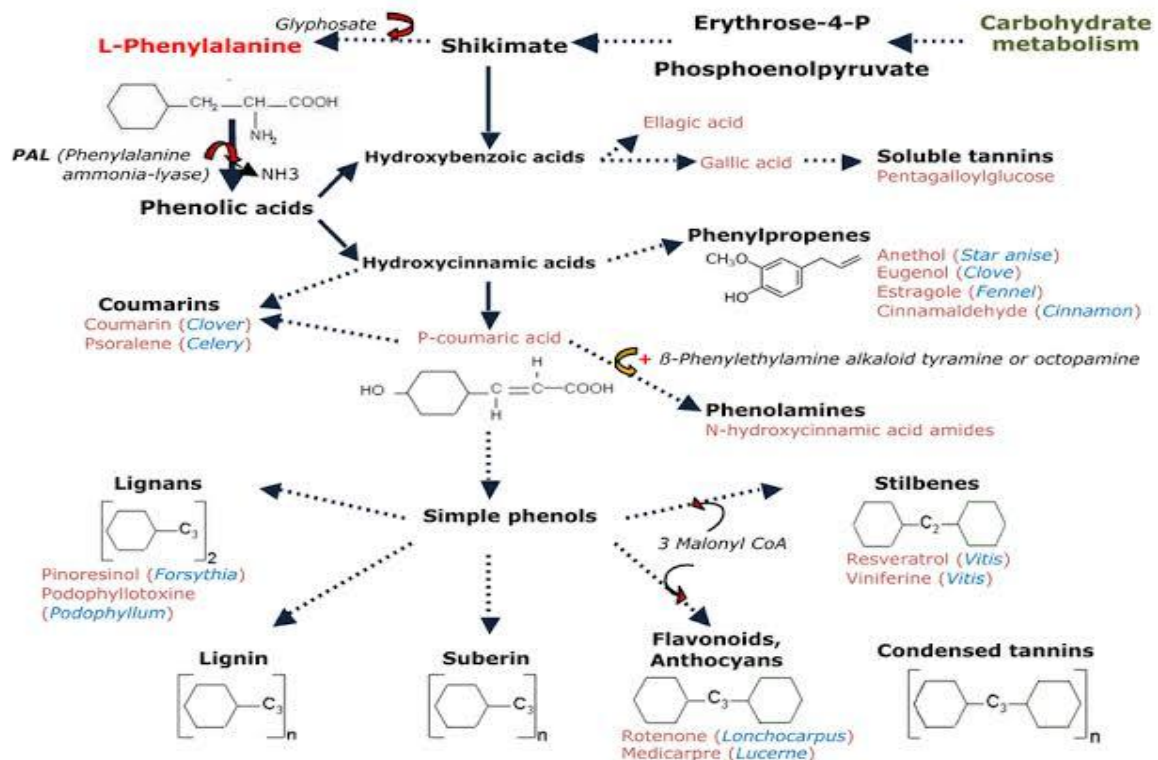


Figure 02. Synthèse et activations des acides phénolique (Dacosta et Silva ; Klein, 1993)

3. Localisation des composés phénoliques

Les composés phénoliques sont omniprésents dans les plantes, mais leur distribution au niveau des tissus, cellulaires et subcellulaires n'est pas uniforme. On trouve des composés phénoliques solubles dans les vacuoles et des composés insolubles dans les parois cellulaires. Elles sont plus ou moins riches en polyphénols selon l'emplacement des cellules. Les parties charnues du fruit sont pauvres (les polyphénols se retrouvent alors essentiellement dans la vacuole), à la différence des cellules dont les parois ont atteint le stade supérieur de rigidité (cellules de la peau et des semences, épicarpe des graines de blé) (Knežević *et al.*, 2012 ; Macheix *et al.*, 1990).

4. Principales classes des composées phénoliques

4.1. Les acides phénoliques

Le terme acide phénolique peut être utilisé pour tous les composés organiques ayant au moins une fonction carboxylique et hydroxyphénolique (Bruneton, 1999). La pratique commune dans la chimie des plantes est de réserver ce terme pour l'acide benzoïque et les dérivés de l'acide cinnamique. Les acides hydroxybenzoïque et hydroxycinnamique existent rarement sous forme libre, mais se retrouvent généralement dans les esters conjugués et les glycosides (Hager et Howard, 2009). L'acide phénolique est directement impliqué dans les réactions de stress ambiant, en tant qu'attaques de ravageurs et contribuer au processus de guérison de la plante par la lignification des tissus endommagés (Manach et al., 2004).

4.1.1. Les acides hydroxybenzoïques

La concentration en hydroxyacide benzoïque est habituellement très faible dans les plantes comestibles. Ces dérivés sont relativement rares dans l'alimentation humaine mais ceux des acides hydroxy-cinnamique tels que les acides p-coumarique, ferulique et sinnapique sont très présents (Macheix et al., 2006).

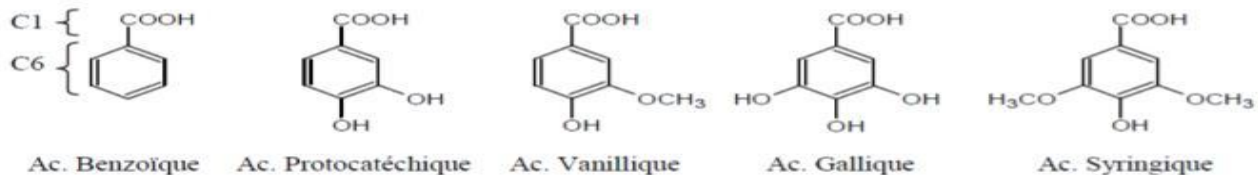


Figure 03. Quelques exemples d'acides phénols dérivés de l'acide benzoïque (C6-C1)
(Bruneton, 1999)

4.1.2. Les acides hydroxycinnamiques

L'acide hydroxycinnamique est une classe très importante dont la structure de base (C6-C3) provient de celle de l'acide cinnamique. Un élément important de la réactivité chimique de ces molécules est le degré d'hydroxylation de l'anneau de benzène et son altération possible par des réactions secondaires (par Méthylation chez les acides féruliques ou sinapique) (Macheix et al., 2006).

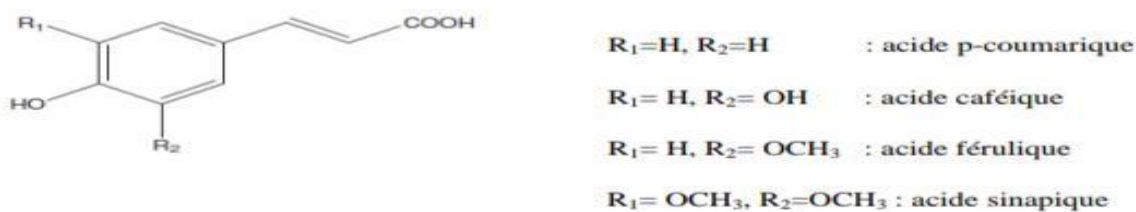


Figure 04. Quelques exemples d'acides phénols dérivés de l'acide cinnamiques (C6_C1) (Bruneton, 1999).

4.2. Flavonoïdes

L'ensemble des flavonoïdes, de structure générale en C15 (C6-C3-C6), comprend à lui seul plusieurs milliers de molécules regroupées en plus de dix classes (11.21. 11.10) qui sont parfois d'une grande importance biologique et technologique: les anthocyanes, pigments rouges ou bleus, les flavones et les flavonols, de couleur crème ou jaune clair, les flavones dont les produits de condensation sont à l'origine d'un groupe des tanins et des isoflavones importants pour la santé humaine. Pour désigner chaque flavonoïde, au lieu d'utiliser les terminaisons dans le flasylium dit cation. A l'inverse, pour les flavanes. (flavane-3-ots comme la catéchine; flavane-3,4-diols), parfois appelées leucoanthocyanines parce qu'elles peuvent produire des anthocyanines rouges sous l'action d'un acide (Jenns et Kuc, 1979)

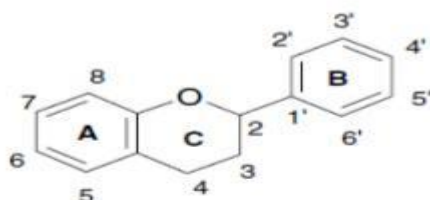


Figure 05. Structure générale d'un flavonoïde (Balasundram et al., 2006).

4.3. Les tanins

Utilisé depuis l'Antiquité par les humains pour traiter les peaux animales. Les tanins revêtent une grande importance économique et écologique et sont responsables de l'astringence de nombreux fruits et légumes et de leurs produits (vin, thé, bière...) (Jenns et Kuc, 1979). Tout d'abord, les tanins peuvent être considérés comme des formes phénoliques condensées capables de se fixer aux protéines en solution et de les précipiter. Par conséquent, les premières estimations quantitatives de tanins ont utilisé la condensation avec des

protéines modélisées: gélatine, albumines, hémoglobine. Il est classique de distinguer deux groupes de tanins ([1.15] à [1.17]) qui diffèrent en termes de réactivité chimique et de composition : les tanins hydrolysables et les tanins condensés (Dacosta et Silva ; Klein, 1993).

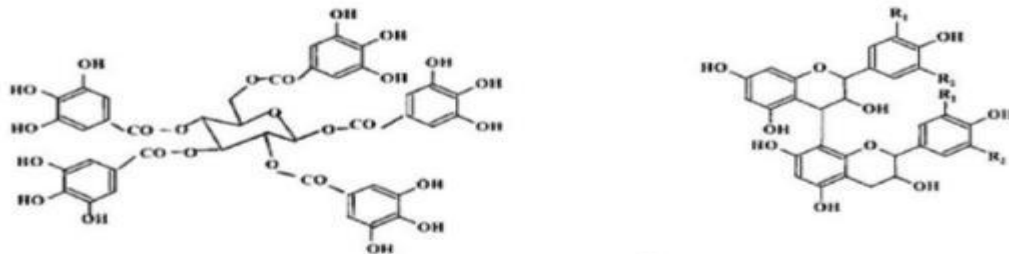


Figure 06. Exemple d'un tanin hydrolysable (pentagalloylglucose à gauche) et un autre condensé (proanthocyanidine R1, R2 = H, OH à droite) (Ignat et al., 2011).

5. Importance des composés phénoliques

5.1. La résistance des phytoalexines

Les phytoalexines sont des métabolites chimiquement hétérogènes, en général toxiques pour les pathogènes. On dénombre plus de 200 phytoalexines, (Walker et Stahmann, 1955). La plupart sont de nature phénolique : flavonoides, coumarines et stilbènes. Elles sont surtout présentes dans les plantes herbacées, en particulier dans les légumineuses produisant des isoflavonoïdes. Chez les Monocotylédones, ce sont des stilbènes, des flavonoïdes et des anthocyanes. Dans les espèces ligneuses il y a principalement des stilbènes, des flavonoïdes et des coumarins. La synthèse des phytoalexines ne constitue pas une réaction spécifique de la plante à l'infection par l'un de ses pathogènes, la même phytoalexine peut être produite par la même plante infectée par différents micro-organismes (Bailey et Mansfield, 1982).

5.2. Modification de substrats phénoliques

L'oxydation de composés phénoliques, particulièrement celle des o-diphénols par les polyphénoloxydases et les peroxydases conduit à l'accumulation d'o-quinones dont la polymérisation ultérieure donne des melanines dont l'accumulation pariétale et cellulaire est associée aux réactions nécrotiques. La résistance des feuilles de pomme à *Venturia inaequalis* est donc corrélée avec l'accumulation d'o-quinones après l'oxydation de la phloretine (Harborne, 1982). En d'autres cas, l'hydrolyse des esters phénoliques ou des glycosides libère l'aglycone la plus toxique. L'hydrolyse des glucosides de daidzéine est donc en

corrélation avec la résistance de soja à *Phytophthora megasperma f. sp. glycinea* (Graham et al., 1990).

5.3. L'activité antimicrobienne

L'effet antimicrobien des composés phénoliques est surtout lié à la modification des membranes (Smith, 1982), inhiber la synthèse d'ARN et d'ADN. (Mori et al., 1987) ou une activité ou une synthèse d'hydrolase (Sztejnberg et al., 1989).

5.4. Le renforcement des parois des cellules végétales

Les composés phénoliques pré-infectieux et post-infectieux peuvent jouer un rôle dans les phénomènes de réticulation, subérification et lignification destinées en particulier à limiter l'action des forces de compression et celle des hydrolases des parasites. Esterification et éthérification des acides phénoliques en polymères pariétaux, polysaccharides et lignine (Liyama et al., 1994), sont en général considérés comme une intervention très active et rapide (Matern et al., 1995). Ces réactions s'accompagnent souvent d'une augmentation de l'activité des peroxydases anioniques, de la déshydrogénase d'alcool cinnamylique (CAD) et de l'accumulation de polymères pariétaux, de lignine et de phénolique subérinique (Graham, 1991).

5.5. La modulation des réactions de défense

Les hydroxycoumarines et l'acide cinnamique sont des agents de la PAL (Dubery, 1990 ; Edwards et al., 1990). L'activité inhibitrice de la scopolétine sur la catalase conduit à l'accumulation de H₂O₂, impliqué dans la réaction hypersensible ; certains phénols stimulent l'activité des polyphényles (Ravise et Kirkiacharian, 1976) et de peroxydases. Par ailleurs, le rôle des composés phénoliques dans la régulation du métabolisme de l'auxine est particulièrement important du fait de sa participation à la mise en place de réactions de défense (Schafer et al., 1971).

5.6. La fonction protectrice

Dans la plupart des systèmes pathologiques, les composés phénoliques sont associés à des réponses de défense passive et active de l'hôte. La réaction entraînant la production de phytoalexines et la réaction d'hypersensibilité est l'une des manifestations métaboliques les plus rapides et les plus fortes. Toutefois, l'apport relatif de chaque composé phénolique ou groupe de composés phénoliques (constituant ou induit) pour l'expression de la résistance et leur interaction possible avec d'autres réactions défensives reste un problème essentiel.

Malgré les approches moléculaires récemment développées, En dépit de l'élaboration récente d'approches moléculaires. L'espoir d'accroître la résistance des plantes aux maladies en manipulant leur métabolisme phénolique ne s'est pas encore concrétisé. Beaucoup de questions restent en suspens quant à la compréhension des réponses de la défense (**Walker et Stahmann, 1955**).

Les voies biochimiques de transmission du signal et début de la réaction. Parmi la complexité des changements métaboliques, ce sont les événements nécessaires et le fondement biochimique pour l'expression de la résistance. Le système d'interaction gène par gène ayant cloné des gènes d'avirulence dans certains agents pathogènes et l'identification des formes de produits permettra déjà de mieux appréhender le type d'interaction enregistrant la reconnaissance du parasite par la plante. Par ailleurs, grâce à ces modèles, la caractérisation moléculaire des gènes de résistance dans les plantes est devenue un défi majeur de la recherche actuelle. Les progrès sont déjà prometteurs et la manipulation de ces gènes pour développer leur spécificité vis-à-vis de plusieurs gènes d'avirulence et leur introduction dans différentes plantes est désormais concevable (**Cuypers et al., 1988**).

CHAPITRE 03

La pollution de sol

1. Généralité

La contamination des sols par les hydrocarbures (pétrole, essence, diesel) est très importante. Elle intervient dans 80% des cas de contamination des sols, compromettant la qualité des sols, les ressources naturelles, la végétation, les micro-organismes et la santé humaine. Il constitue une menace très sérieuse pour l'environnement en Algérie. Les pertes et les déversements, ainsi que les déversements accidentels, soulèvent des inquiétudes quant aux conditions écologiques irréversibles. Les produits pétroliers, notamment en provenance des stations-service, sont la première cause de contamination observée suite à la corrosion des réservoirs de stockage ou à des fuites dans les canalisations entre les citernes et les îlots de pompage (Colin, 2001). Selon la direction provinciale de l'environnement de Tizi Ouzou (2014), 83 stations-service fonctionnelles sont implantées dans la province, dont 7 sont en construction et 14 sont en projet. Malheureusement, la plupart de ces stations sont situées sur des terrains agricoles. L'utilisation d'hydrocarbures libère de grandes quantités de substances nocives dans le sol. Le sol est un support important pour la survie des animaux, des plantes terrestres et des humains, et toute pollution de celui-ci entraînera des déséquilibres de la flore, de la faune et des humains eux-mêmes (Koller, 2004). Par conséquent, en raison de différentes technologies, cet équilibre perdu doit être rétabli (Lecomte, 1998).

1. Définition

Le sol est dit contaminé quand il contient une concentration anormale de substances chimiques qui sont potentiellement nocives pour la santé humaine, les végétaux ou les animaux. La pollution a alors lieu soit par le tube digestif (consommation d'eau polluée par exemple), soit par les voies respiratoires (poussière des sols pollués dans l'atmosphère) (Walker et Stahmann, 1955).

La contamination des sols désigne la concentration supérieure ou inférieure de substances toxiques dans les sols de tous types. Habituellement attribué à l'activité humaine, cette concentration anormale peut être associée à une utilisation agricole d'engrais et de pesticides, le passage d'équipements lourds, les rejets accidentels des industries ou la multiplication des surfaces en béton. En plus de bien d'autres causes (Adams *et al.*, 2014).

Cette pollution peut alors être libérée dans l'environnement par l'intermédiaire d'organismes vivants dans l'eau, l'air ou le sol (bactéries, plantes, champignons), occasionnant diverses perturbations dans les écosystèmes connexes et d'importants risques pour la santé (Dudois, 2007).

Le 20^{ème} siècle a donc entraîné une détérioration très marquée des sols mondiaux, et on estime que 95 % d'entre eux pourraient être dégradés d'ici 2050. Une pollution dont l'origine n'est pas toujours simple à déterminer, ce qui complique parfois la mise en place de mesures adaptées (Adams *et al.*, 2014).

Il y a deux genres de pollution de sol (Belaid, 2010) (Figure 08) :

La pollution localisée : Elle se caractérise par la présence occasionnelle dans le sol de substances dangereuses, telles que les déversements, les fuites ou les dépôts de déchets.

La pollution diffuse : Elle s'agit de polluants à faibles concentrations sur de grandes superficies, généralement issus de l'application de produits : engrais ou pesticides, dépôts atmosphériques. Chacun de ces types comporte deux sources de pollution :

- Pollution accidentelle : Libération ponctuelle ou momentanée de polluants.
- Pollution chronique : pendant de longues périodes, comme les fuites dans les canalisations enfouies, le lixiviat provenant des dépôts de déchets.

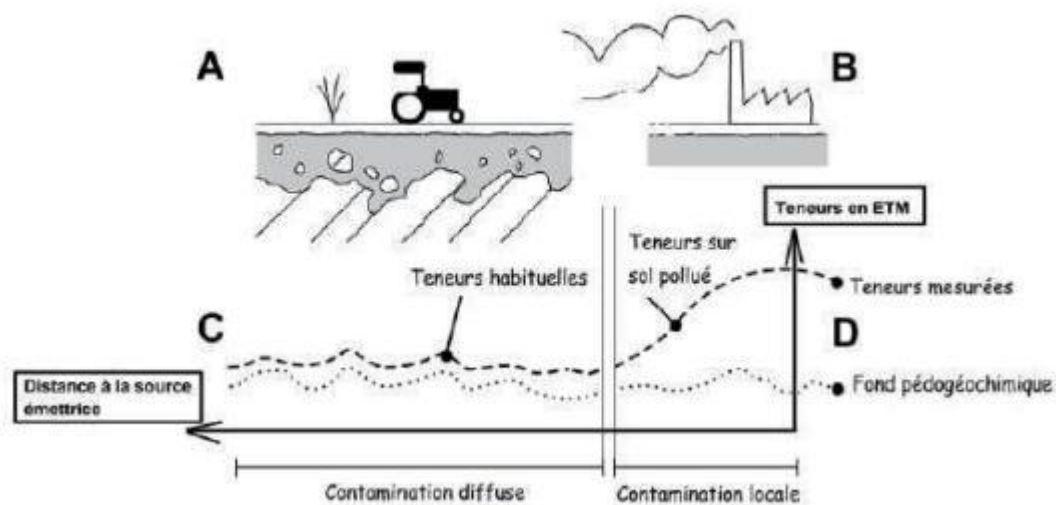


Figure 07. Contamination diffuse et locale (Vanobberghen, 2010 ; Pereira et Sonnet, 2007).

(A) : D'une part, nous disposons d'un sol caractérisé par une couche de surface (en gris), développée sur les roches du substrat géologique.

(B) : D'autre part, on a un sol avec les mêmes caractéristiques que dans A, à l'exception de la présence d'un site industriel (source d'émissions massives de polluants).

(C) : Après la ligne pointillée, on voit que l'arrière-plan du NGPF varie légèrement et a un contenu relativement bas. La ligne pointillée nous indique une forme de pollution diffuse, mais décrite comme « ordinaire » parce que l'influence de la contamination locale ne peut être décelée. Le FPGN reste variable, mais ses concentrations sont toujours faibles.

(D) : Suite à la ligne pointillée, on note une augmentation significative du niveau, résultant d'une importante contamination locale.

1. Les causes de la pollution de sol

Il y a différentes façons de polluer le sol. Les principales causes de la contamination des sols sont attribuables à une mauvaise gestion des terres, souvent dans l'agriculture, les industries extractives, mais également la circulation routière. Nous devons prendre conscience que la contamination des sols ne touche pas seulement notre environnement quotidien, mais également la faune et la flore avec lesquelles nous partageons la planète (**Ballerini, 1999**).

L'utilisation accrue de fertilisants chimiques, de pesticides et d'insecticides constitue le principal problème de l'agriculture intensive moderne. Si elles ne sont pas appliquées dans les bonnes proportions, elles peuvent rester dans le sol, et seront aussi emportées hors des champs et dans les approvisionnements en eau locaux. Souvent, l'ingrédient fertilisant est l'azote qui, s'il est laissé en concentration élevée dans le sol, peut réellement changer l'acidité ou le pH, donc modifier la diversité des plantes en mesure de se développer dans cet environnement. Les terres contaminées peuvent nuire aux cultures et à la végétation naturelle. Quelques-uns de ces toxines sont absorbés par les plantes et les animaux que nous mangeons et pénètrent ainsi dans notre corps. Les agriculteurs responsables sont en mesure de réglementer la quantité d'engrais et de pesticides utilisés pour éviter ces problèmes (**Alik et Belkacem, 2015**).

3.1. La pollution de sol par les métaux lourds

Quelques métaux lourds jouent un rôle importance dans le fonctionnement physiologique des plantes. Mais lorsqu'une grande quantité de métaux lourds est présente dans le sol et biodisponible pour les végétaux, ces éléments peuvent avoir une incidence sur la fertilité du sol et même être absorbés par le système racinaire et s'accumuler dans la partie récoltable des plantes. C'est ce qu'on appelle la « phytoextraction ». Avant d'établir un potager ou une culture dans un emplacement qui n'a pas fait l'objet d'une enquête sur sol et qui pourrait avoir été contaminé, aussi vaut-il mieux être vigilant. Autrement, il y a un risque réel que les

contaminants se propagent tout au long de la chaîne alimentaire et nuisent à la santé de nombreux organismes (**Atlas, 1981**).

Elle est toutefois intéressante de noter que la phytoextraction peut faire partie d'une stratégie de décontamination des sols. Dans un tel projet, les métaux lourds tels que sont extraits du sol en utilisant des installations d'accumulateurs ou d'hyperaccumulateurs, dont les feuilles et les tiges sont régulièrement taillées, incinérées et enfouies (**Rouquerol et al., 1987**).

1.2. Les formes de cadmium, plomb et zinc dans le sol

➤ Cadmium

Dans les sols, le cadmium est considéré comme un élément relativement mobile comparativement aux autres métaux-traces comme le cuivre ou le plomb (**Bourelle et Berthelin, 1998**). Les principales formes de cadmium présentes dans la solution pédologique sont : Cd^{2+} , $CdSO_4$, $CdCO_3$, $CdCl_2^+$ et $CdHCO_3^+$ (**Sposito, 1989**).

➤ Zinc

Le Zn est présent dans le sol sous les formes chimiques suivantes: Zn^{2+} , $ZnSO_4$, $ZnHCO_3^+$, $ZnCO_3$, $ZnFe_2O_4$, Zn_2SiO_4 , $Zn_3(PO_4)_2$, La forme de zinc la plus fréquente et mobile dans les sols est le Zn^{2+} , qui est facilement adsorbé aux constituants minéraux et organiques (**Ross, 1994**). On considère que le zinc est facilement soluble en comparaison des autres ETM dans les sols, il est hautement mobile et disponible dans les sols légers et acides, et forme également des complexes insolubles et stables avec la matière organique particulaire ou avec des ligands inorganiques (carbonates, phosphates, sulfates...) (**Clemente et al., 2006 ; Usman et al., 2004**).

➤ Plomb

Dans le sol, on retrouve le Pb dans les formes chimiques ci-après : Pb^{2+} , $PbHCO_3^+$, $PbOH^+$, $PbSO_4$, $Pb(OH)_2$, $PbCO_3$, PbO , $Pb(PO_4)_2$, $PbCl^+$, les ions Pb^{2+} et $Pb(OH)^+$ dominant dans la solution de sol (**Ross, 1995**). Lorsque le pH augmente, on remplace ces formules par $Pb(OH)_2$, $Pb(OH)_3$, La concentration de plomb dans la solution du sol est extrêmement basse, allant de 10^{-8} à 10^{-9} M. Le plomb est l'un des ETM les moins mobiles dans le sol (**Vander, 2013**).

1.3. Toxicité des métaux lourds

On trouve dans la nature des métaux lourds leur caractéristique commune est la toxicité. Ce caractère toxique est renforcé par un phénomène de concentration connu sous le nom de bioaccumulation ou de bioamplification. Elle s'agit du processus par lequel les métaux lourds sont absorbés et concentrés dans l'organisme (Miquel, 2001).

La toxicité augmente de la classe A à la classe B, et l'expression « métaux lourds » fait référence aux métaux toxiques et aux métalloïdes quelle que soit leur densité (Bicocchi, 1998).

Nombreux de ces oligoéléments sont indispensables aux organismes vivants (Cu, Zn, Co, Fe, Mn, Ni, Cr, Mo, Se et Sn), mais une concentration plus élevée peut conduire à des phénomènes de toxicité. Les autres éléments n'ont que des effets nuisibles (Pb, Hg et Cd) (Bonnet et al., 2000). Les effets toxiques des métaux lourds sur les organismes vivants dépendent de leur nature, de leur concentration, de leur mode d'action, de leur spéciation et de leur biodisponibilité (Alzieu, 1999 ; Bonnet et al., 2000).

Selon Picot (2003), ces éléments toxiques ont été regroupés sous le nom de « métaux lourds », puisque leurs propriétés sont communes :

- Forte affinité pour le soufre ;
- Bioaccumulation élevée dans les chaînes alimentaires. ;
- Toxicité importante pour beaucoup d'êtres vivants (microbes, végétaux, animaux et humains).

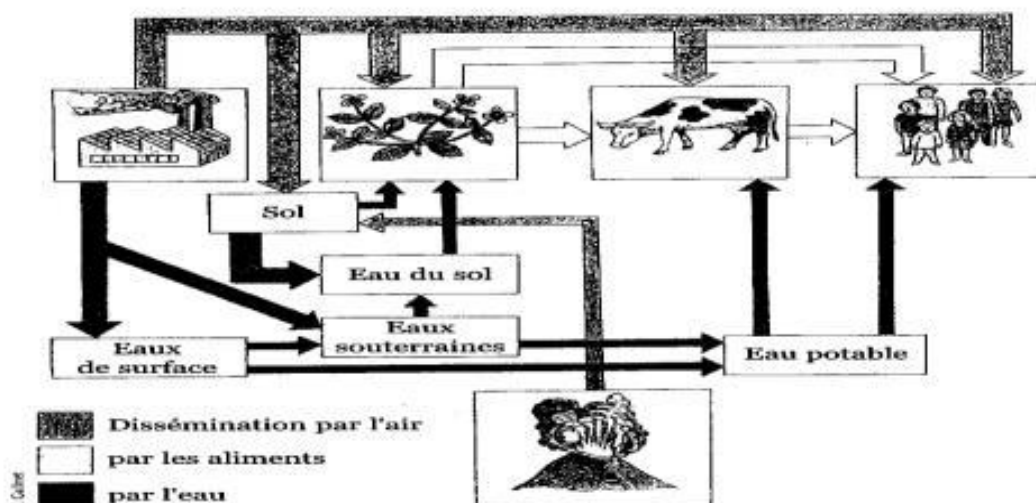


Figure 08. Le cheminement des métaux lourds dans l'environnement (Bert et Deram, 1999).

2. Effets de la pollution de sol

La contamination des sols a un impact dévastateur sur l'environnement et a un impact sur toutes les formes de vie qui y évoluent. Les pratiques agricoles non durables qui réduisent la matière organique du sol favorisent le transfert de polluants vers le haut de la chaîne alimentaire. Par exemple : le sol contaminé libère des contaminants qui s'infiltrent dans les eaux souterraines et s'accumulent ensuite dans les tissus végétaux, qui sont ensuite consommés par les animaux brouteurs, les oiseaux et, finalement, par les humains qui mangent ces plantes et animaux. La présence de contaminants dans le sol, les eaux souterraines et la chaîne alimentaire provoque un large éventail de maladies et une mortalité humaine élevée, allant des effets aigus à court terme (tels que l'empoisonnement ou la diarrhée) aux effets chroniques à long terme (**Bergue et Mérienne, 1986**).

En plus de l'impact environnemental, la pollution des sols a des coûts économiques élevés en raison de la baisse des rendements et de la qualité des cultures. La prévention de la pollution des sols devrait être la première priorité mondiale. La grande majorité des polluants sont le résultat d'actions humaines signifie que nous sommes directement responsables des changements nécessaires pour assurer un avenir moins polluant et plus sûr. La capacité productive des sols et leur contribution à la sécurité alimentaire et au maintien des services écosystémiques essentiels doivent être reconnues et valorisées (**Maes et al., 2007**).

La pollution du sol fait réagir en chaîne. Cela modifie la biodiversité du sol, diminue la matière organique du sol et la capacité du sol d'agir en tant que filtre. Elle contamine l'eau emmagasinée dans le sol et les eaux souterraines et cause des déséquilibres au niveau des nutriments dans le sol. Les métaux lourds comptent parmi les principaux contaminants du sol, les POP et les nouveaux polluants tels que les médicaments et les produits d'hygiène personnelle (**Bergue et Mérienne, 1986**).

6. Conséquence de la pollution de sol

La matière organique indispensable aux organismes devient rare, réduction des réserves de carbone, l'eau a du mal à s'infiltrer, ce qui cause une suffocation du sol, et une véritable réaction en chaîne se produit. Moins de matière organique signifie moins d'éléments nutritifs pour les êtres vivants et moins de protection contre la transmission de polluants par la chaîne alimentaire. Les substances toxiques s'infiltrent alors dans les nappes périphériques et entrent

dans les plantes qui seront consommées par les animaux, puis par les humains (**Walworth et al., 2001**).

Comme toujours, il est important de garder en tête que tout est relié. Le sol est intimement lié à la grande majorité des écosystèmes de la planète et est l'une des conditions fondamentales pour le maintien de la vie (**Mailem et al., 2017**).

La pollution du sol a des répercussions partout. La nourriture que nous consommons, l'eau que nous buvons, l'air que nous respirons, notre santé et celle de tous les organismes de la planète dépendent de terres saines. Le contenu nutritif des tissus végétaux est directement relié au contenu nutritif du sol et son aptitude à promouvoir l'échange de nutriments et d'eau avec les racines des plantes (**Baize, 2000**).

La contamination des sols est non visible. Actuellement, un tiers de nos sols sont modérément ou gravement dégradés par l'érosion, diminution du carbone organique du sol, salinité, compaction, acidification et pollution chimique. Il faut à peu près 1000 ans pour qu'un pouce de terre se régénère, ce qui veut dire que nous ne serons pas capables de produire plus de terre dans notre vie. On ne voit rien d'autre. Cependant, les sols sont soumis à des pressions accrues en raison de la pollution des sols. Le rythme actuel de dégradation des terres menace la capacité des générations futures de combler leurs besoins les plus fondamentaux (**Zobell, 1969**).

La pollution des sols affecte leur aptitude au filtrage. Le sol joue le rôle de filtre et de tampon contre les contaminants. Cependant, les sols ont un potentiel limité pour atténuer la pression des polluants. Si on dépasse la capacité du sol de nous protéger, les contaminants pollueront (et pollueront) d'autres éléments de l'environnement, telles que notre chaîne alimentaire (**Baize, 2000**).

La pollution des sols a une incidence sur la sécurité alimentaire en réduisant les rendements et la qualité des récoltes. Sans sols sains, nous ne serons pas en mesure de produire suffisamment de nourriture pour y parvenir. Seuls des sols sains peuvent produire des aliments sains, nutritifs et de bonne qualité (**Zobell, 1969**).

Les mauvaises pratiques agricoles peuvent polluer les sols. Les pratiques agricoles non viables réduisent la matière organique des sols, ce qui compromet leur capacité de dégrader les polluants organiques (**Walworth et al., 2001**). Par conséquent, les polluants risquent davantage d'être rejetés dans l'environnement. Dans beaucoup de pays, la production agricole intensive a appauvri les sols, compromettant notre capacité à soutenir la production dans ces

zones dans la future. Les pratiques de production agricole durable sont donc devenues incontournable pour inverser la tendance à la dégradation des terres et assurer la sécurité alimentaire mondiale actuelle et à venir (**Yuli-Yantoa et al., 2017**).

La pollution des sols peut constituer un risque sanitaire. Une proportion significative des antibiotiques, largement utilisés en agriculture et en santé humaine, sont libérés dans l'environnement après avoir été excrétés par l'organisme auquel ils ont été administrés. Ces antibiotiques peuvent s'infiltrer dans notre sol et se répandre dans le milieu. Il en résulte une résistance aux antimicrobiens, ce qui réduit l'efficacité des antibiotiques. Chaque année, environ 700000 décès sont causés par des bactéries antibiorésistantes. En 2050, si le problème n'est pas réglé rapidement, ils auront plus de victimes que le cancer, et ils coûteront plus globalement que l'économie mondiale actuelle (**Zobell, 1969**).

Partie II

Étude

Expérimentale

Chapitre 01

Matériel et méthodes

1. Matériel et méthodes

1.1. Matériel végétal

Le matériel végétal ayant fait l'objet de la présente étude concerne les graines de l'*Atriplex halimus* de la famille chénopodiacée. Il a été choisi en raison de son utilisation au laboratoire comme plante modèle pour ces capacités de résistance et d'adaptation aux stress abiotiques.



Figure 09. Graines et touffes d'*Atriplex halimus* de la région de Tébessa (Ben Dar et Tag 2022).

1.2. Préparation du substrat (sol)

Le substrat utilisé est un mélange de sable et de terreau industriel à (1 v/2 v) respectivement. Avant de l'utiliser, le sable a subi un certain nombre d'opérations de préparation, Tout d'abord, il a été tamisé pour éliminer les débris de plantes et d'animaux, pour obtenir du sable fin. Rincer ensuite abondamment à l'eau du robinet, puis trempé dans une solution de HCl dilué dans de l'eau distillée au taux de 1/5, pour en retirer les sels (chlorures, carbonates). Le sable est alors rincé à plusieurs reprises avec de l'eau distillée, séchée en plein air (Aoumeur, 2012).

1.3. Mise en germination et repiquage

Au laboratoire, Nous avons préparé les semences à l'avance en les épluchant de leurs bractées pour faciliter la germination. Puis, les graines sont sélectionnées en fonction de leur morphologie, leur taille, leur couleur (brune) et leur aspect sanitaire (absence de contaminations) puis elles ont subi le protocole de stérilisation suivant (Fatarna, 2007):

- 1) Trempage dans un bain d'éthanol à 95% pendant quelques secondes ;

- 2) Trempage dans un bain d'eau de Javel à 5% pendant 15 minutes;
- 3) Trois passages successifs dans des bains d'eau distillée stérile de 10 minutes chacun.

Après la germination, les grains ayant des racines plus de 2 mm de longueur ont été repiqués dans des pots. Elles sont ensuite mises en culture pendant 3 mois dans les mêmes conditions que pour la germination.

1.4. L'arrosage

L'arrosage est effectué trois fois par semaine par l'eau distillée ; substituée une fois sur trois par une solution nutritive de Hoagland jusqu'à l'obtention d'un végétal suffisant pour les analyses.

Tableau 04. Composition de la solution nutritive de Hoagland (Hoagland and Arnon, 1950)

Eléments minéraux	Concentration mg/L
(NH ₄) ₂ HPO ₄	115,3
de B(OH) ₃	2,86
Ca(NO ₃) ₂ .4H ₂ O	656,4
CuSO ₄ .5 H ₂ O	0,08
Fe(C ₄ H ₄ O ₆) ₃ .2 H ₂ O	5,32
MgSO ₄ .7 H ₂ O	240,76
MnCl ₂ .4H ₂ O	1,81
MoO ₃	0,016
KNO ₃	606,6
ZnSO ₄ .7 H ₂ O	0,22



Figure 10. Plantule d'*Atriplex halimus* après l'arrosage à l'eau distillée et solution nutritive (Ben Dar et Tag 2022).

1.5. Protection de semis

Nous protégeons les plantules en utilisant une sous serre en toile verte pour éviter toute menace extérieure de prédateurs (insectes, oiseaux, etc.) comme le montre la **figure 12** :



Figure 11. Protection des semis (Ben Dar et Tag 2022).

1.6. Application du stress

Le stress métallique a été appliqué à la plante après 3 mois de la culture pendant trois semaines. Cinq doses métalliques ont été choisies pour les métaux Zn, Pb (0, 2000, 4000, 6000 et 8000 ppm) et Cd (0, 500, 1000, 1500 et 2000 ppm), avec de trois répétitions pour l'ensemble des doses métalliques appliquées.

1.7. Dispositif expérimental

Pour l'installation de l'expérience dans la serre, on a choisi d'installer les plantes en randomisation totale répartie en 3 blocs, chaque bloc pour un métal avec cinq doses, chaque dose comporte trois répétitions.

Les pots sont disposés selon le plan d'expérimentation présenté dans la figure 13 :



Figure 12. Dispositif expérimental des plantules d'*Atriplex halimus* stressée par zinc, plomb et cadmium (Ben Dar et Tag 2022).

Celui-ci a été obtenu après avoir réalisé un tirage aléatoire, nous permettant de nous affranchir des facteurs environnementaux pouvant fausser nos résultats.

Tableau 05. Dispositif expérimental (Ben Dar et Tag 2022).

Métaux lourds	Doses des métaux lourds	Nombre total des pots
Zn	0 ppm	3 pots
	2000 ppm	3 pots
	4000 ppm	3 pots
	6000 ppm	3 pots
	8000 ppm	3 pots
Pb	0 ppm	3 pots
	2000 ppm	3 pots
	4000 ppm	3 pots
	6000 ppm	3 pots
	8000 ppm	3 pots
Cd	0 ppm	3 pots
	500 ppm	3 pots
	1000 ppm	3 pots
	1500 ppm	3 pots
	2000 ppm	3 pots

2. Méthodes

2.1. Prélèvement et préparation du matériel végétal pour les analyses

Après 21 jours de l'application du stress, les feuilles de l'*Atriplex halimus* sont prélevées en prenant le soin de les mettre dans des sachets de papier kraft de manière à les protéger de la lumière.

2.2. Paramètres étudiés

a. Contenu phénolique total

a.1. Principe de la réaction

On calcule la teneur totale en polyphénols à l'aide du réactif Folin Ciocalteu (**Singleton et Rossi, 1965**). Le réactif FCR, constitué d'un mélange d'acide phosphotungstique (H₃PW₁₂O₄₀) et d'acide phosphomolybdique (H₃PMo₁₂O₄₀), est réduit lors de l'oxydation des phénols, en mélange d'oxydes de tungstène (W₈O₂₃) et de molybdène (Mo₈O₂₃). La

coloration bleue résultante est proportionnelle à la teneur en phénols totaux, et possède une absorption maximale aux environs de 750 -765 nm.

a.2. Mode opératoire

- Préparation de la solution de carbonate de sodium (Na_2CO_3) à 7,5%. Cette solution est préparée en dissolvant 7,5 g de Na_2CO_3 dans 100 ml d'eau distillée.
- Préparation de l'extrait de plante, une masse de 100 mg de feuilles sont extraits en présence de méthanol 80% (1 ml). L'extrait est ensuite agité puis centrifugé à 5000g pendant 5 min.
- Préparation de Folin Ciocalteu (FCR) Dans une fiole jaugée de 10 ml on place 1ml de la solution FCR concentré (2M) et on complète le volume avec de l'eau distillée.

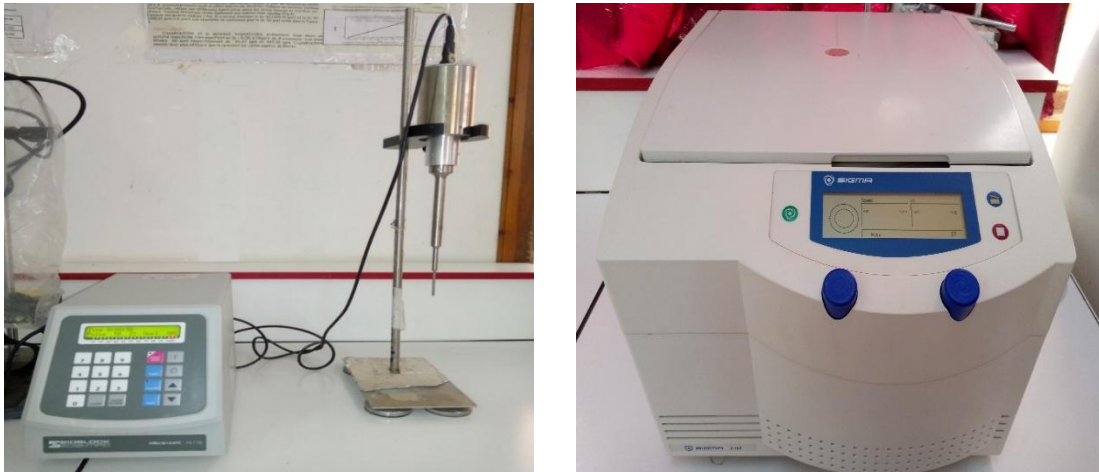


Figure 13. Homogénéisateur et centrifugeuse à 5min/5000g (Ben Dar et Tag 2022).

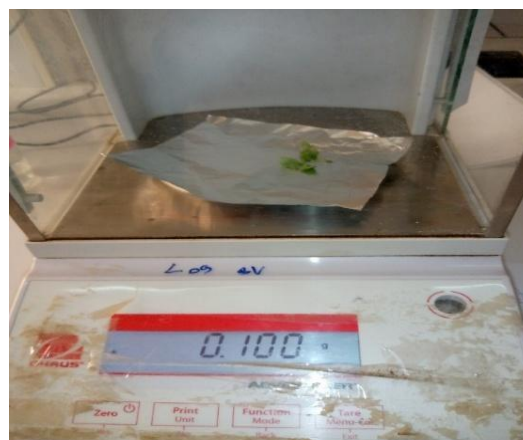


Figure 14. Balance d'analyse précision (Ben Dar et Tag 2022).

a.3. Procédure

A 20 µl d'extrait de plante on ajoute 100 µl de FCR dilué (1 :10) et 75 µl de carbonate de sodium à 7,5%, et on place le mélange à l'obscurité pendant 2h. La lecture est réalisée à 765 nm. Un blanc est préparé de la même manière en remplaçant l'extrait de plante par le solvant utilisé (le méthanol). La concentration des polyphénols a été déterminée à partir d'une courbe d'étalonnage (réalisé par un standard étalon la quercétine à différentes concentrations dans les mêmes conditions que l'échantillon, et exprimée en mg d'équivalent de l'acide gallique par gramme de matière fraîche (mg AG/g MF).

b. Dosages des flavonoïdes

La méthode du trichlorure d'aluminium (**Bahorun et al., 1996**) est utilisée pour quantifier les flavonoïdes.

b.1. Principe

La méthode repose sur l'aptitude des flavonoïdes à chélater les métaux (fer et aluminium), cette propriété est propre aux groupements hydroxyle des polyphénols flavonoïdes capable de donner un complexe jaunâtre en présence d'aluminium. La coloration jaune est proportionnelle à la quantité de flavonoïdes présente dans l'extrait (**Ribéreau, 1982**).

b.2. Mode opératoire

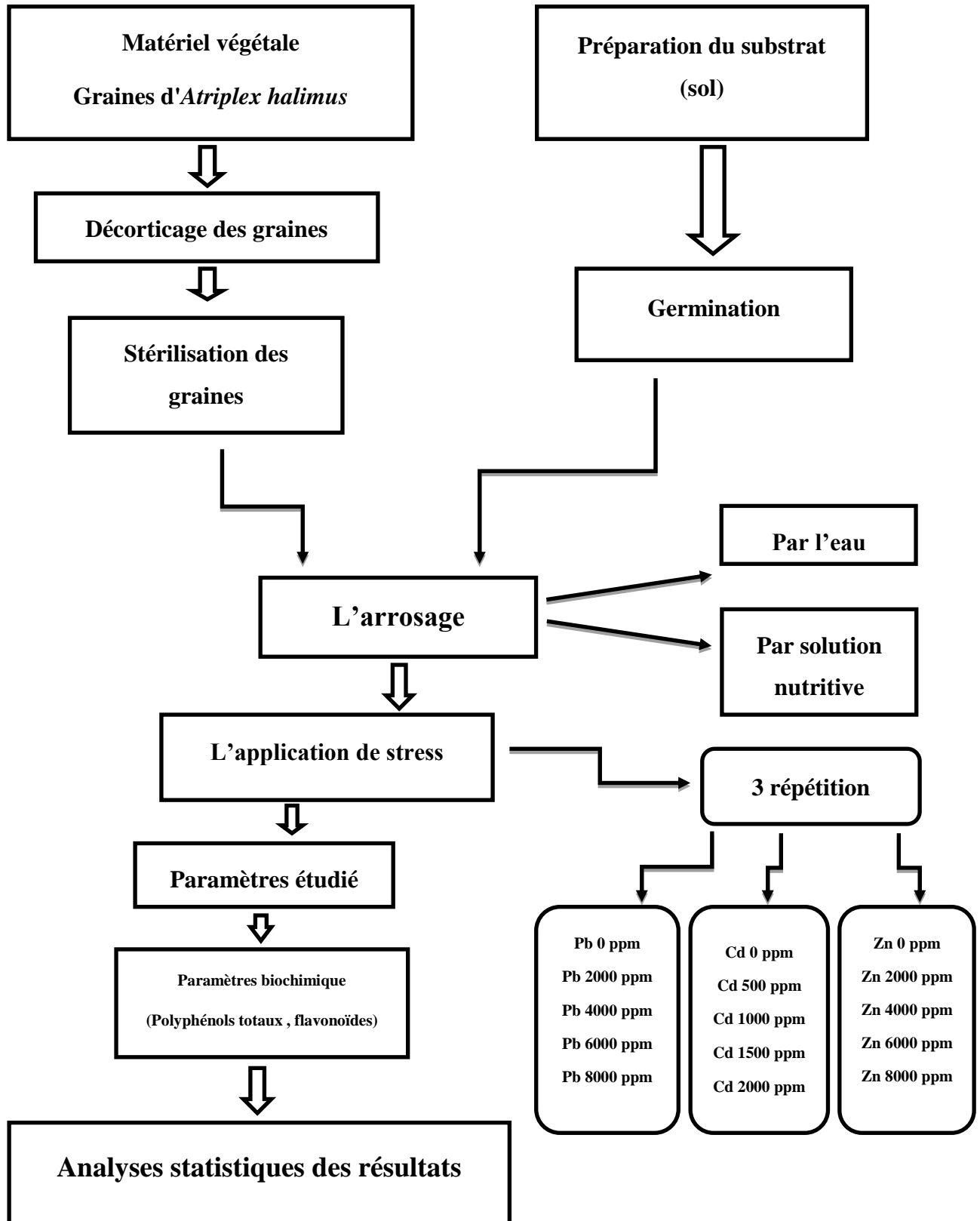
Avec une légère modification. 50µl de chaque extrait est mélangé avec de 50µl detrichlorure d'aluminium (AlCl₃) (200mg d'AlCl₃ sont dissouts dans 10ml d'H₂O) après 5 min ajoute 150µl de d'acétate de sodium (C₂H₃NaO₂) (500mg d'C₂H₃NaO₂ son dissouts dans10ml d'H₂O) est ajouté au mélange, durant 2h 30 heures à la température ambiante et à l'obscurité. L'absorbance est mesurée à 440nm contre un blanc à l'aide d'un spectrophotomètre. La concentration des flavonoïdes a été déterminé à partir d'une courbe d'étalonnage réalisé par un standard étalon la quercétine a différentes concentrations dans les mêmes conditions que l'échantillon, et exprimée en mg d'équivalent de Quercétine par gramme de matière fraîche (mg EQ/g MF).



Figure 15. Spectrophotomètre UV (Ben Dar et Tag 2022).

2.3. Traitement de données et analyse statistique

Les données sont calculées sous forme d'une moyenne de 3 répétitions à l'aide du tableur EXCEL 2007 et les graphiques également réalisés à l'aide du même tableur. Les données recueillies pour l'ensemble des caractères étudiés ont été soumises à une analyse de la variance avec le logiciel XLSTAT. L'analyse de la variance effectuée est à un critère de classification (facteur traitement). Les moyennes sont comparées à l'aide du test de Dunnett, lorsque cela est nécessaire (différences au moins significatives).



Chapitre 02

Résultats et Discussion

1. Résultats

Dans notre travail, nous avons essayé de montrer en évidence les teneurs en polyphénols totaux et en flavonoïdes de plantules d'*Atriplex halimus* traitées par 0, 2000, 4000, 6000, 8000 ppm de zinc, plomb et 0, 500, 1000, 1500, 2000 ppm de cadmium pendant 21 jours.

1.1. Influence du zinc sur la teneur en polyphénols totaux

L'analyse de la variance (**Tableau 06**), ne montre aucun effet significatif ($p = 0.382$) sur la teneur en polyphénols totaux des feuilles de l'*Atriplex halimus* stressée par différentes concentrations de zinc.

Tableau 06. Analyse de la variance de la teneur en polyphénols totaux l'*Atriplex halimus* stressée au zinc.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
	4	0,224	0,056	1,167	0,382

Grâce à notre analyse des résultats de l'histogramme présenté dans **la figure 17**, nous avons remarqué une légère diminution de la teneur en polyphénols atteignant (0.7 mg/g MF, 0.989 mg/g MF, 0.97 mg/g MF et 0.975 mg/g MF) dans les feuilles chez la plante de l'*Atriplex halimus* stressée par le Zn avec différentes concentrations (2000, 4000, 6000, et 8000 ppm) respectivement par rapport au témoin (1.051 mg/g MF).

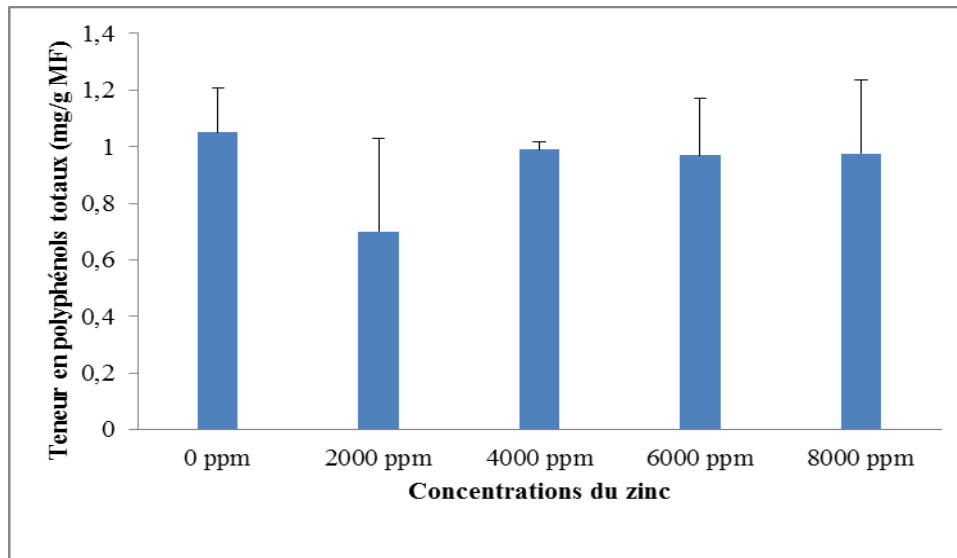


Figure 16. Teneur en polyphénols totaux des feuilles de l'*Atriplex halimus* stressée au zinc.

1.2. Influence du plomb sur la teneur en polyphénols totaux

L'analyse de la variance (**Tableau 07**), montre il n'y a pas un effet significatif ($p = 0.085$) avec les différentes concentrations de plomb sur la teneur en polyphénols totaux des feuilles de l'*Atriplex halimus*.

Tableau 07. Analyse de la variance de la teneur en polyphénols totaux l'*Atriplex halimus* stressée au plomb.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
	4	0,282	0,070	2,806	0,085

L'analyse des résultats de l'histogramme présenté dans **la figure 18** montre que le plomb provoque une légère augmentation de la teneur des polyphénols totaux dans les feuilles de l'*Atriplex halimus*, elle arrive à 1.32mg/g MF, 1.358 mg/g MF, 1.137mg/g MF et 1.408 mg/g MF aux concentrations 2000, 4000, 6000 et 8000 ppm, respectivement comparativement au témoin (1.051 mg/g MF).

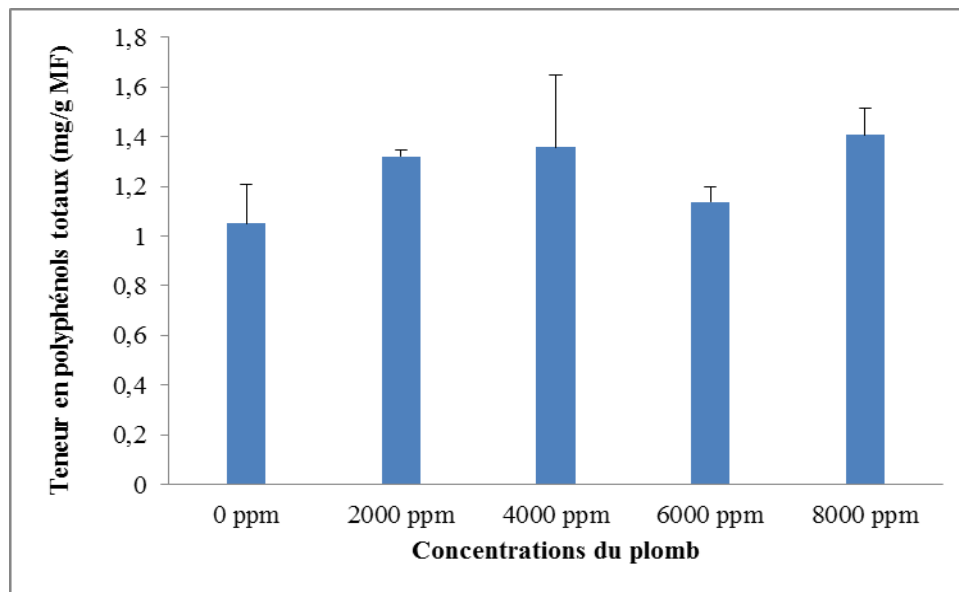


Figure 17. Teneur en polyphénols totaux des feuilles de l'*Atriplex halimus* stressée au plomb.

1.3. Influence du cadmium sur la teneur en polyphénols totaux

L'analyse de la variance (**Tableau 08**), ne montre aucun effet significatif ($p = 0.431$) sur la teneur en polyphénols totaux des feuilles de l'*Atriplex halimus* stressée par différents concentrations de cadmium.

Tableau 08. Analyse de la variance de la teneur en polyphénols totaux l'*Atriplex halimus* stressée au cadmium.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
	4	0,377	0,094	1,047	0,431

La teneur en polyphénols totaux des feuilles mesuré chez l'*Atriplex halimus* stressée avec différentes concentration de cadmium présenté dans **la figure 19**.

Notre analyse des résultats a montré qu'il y avait une légère augmentation de la teneur en polyphénols totaux des feuilles de l'*Atriplex halimus* atteignant (1.238 mg/g MF, 1.27 mg/g MF, 1.424 mg/g MF et 1.508 mg /g MF) stressée avec quatre concentrations de cadmium (500, 1000, 1500 et 2000 ppm) respectivement, par rapport au témoin (1.051 mg/g MF).

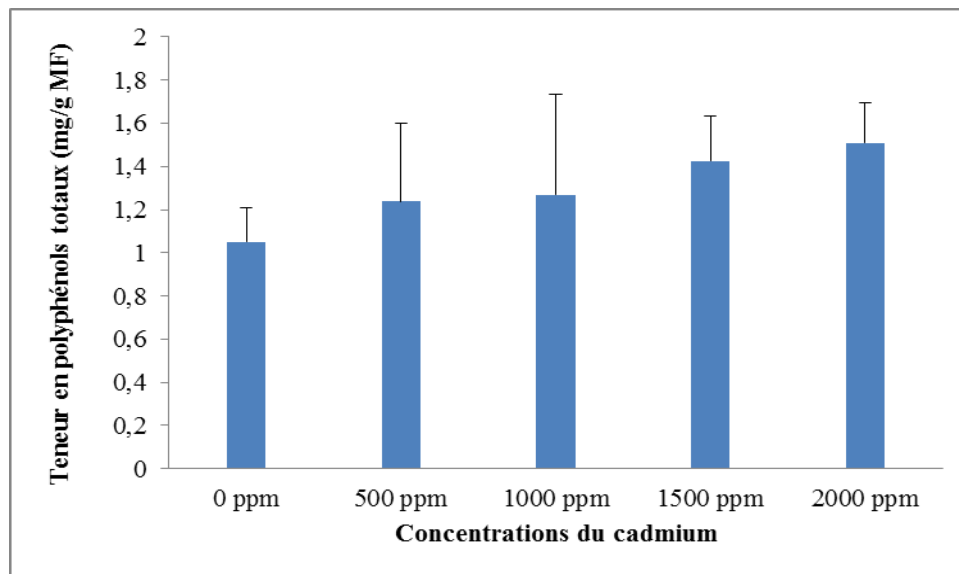


Figure 18. Teneur en polyphénols totaux des feuilles de l'*Atriplex halimus* stressée au cadmium.

1.4. Influence du zinc sur la teneur en flavonoïdes

Les résultats de l'analyse de la variance (**Tableau 09**), montrent que les différentes concentrations de zinc influent de manière significative ($p < 0.05$) sur la teneur en flavonoïdes des feuilles de l'*Atriplex halimus*.

Tableau 09. Analyse de la variance de la teneur en flavonoïdes l'*Atriplex halimus* stressée au zinc.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
	4	0,631	0,158	4,186	0,030

D'après les résultats obtenus la teneur en flavonoïdes foliaire (**figure 20**) augmente sous l'effet des différentes concentrations de zinc. Cette augmentation est significative sous les traitements 2000, 6000 et 8000 ppm avec respectivement une valeur de 0.943 mg/g MF, 0.909 mg/g MF et 0.924 mg/g MF par rapport aux témoins (0.398 mg/g MF).

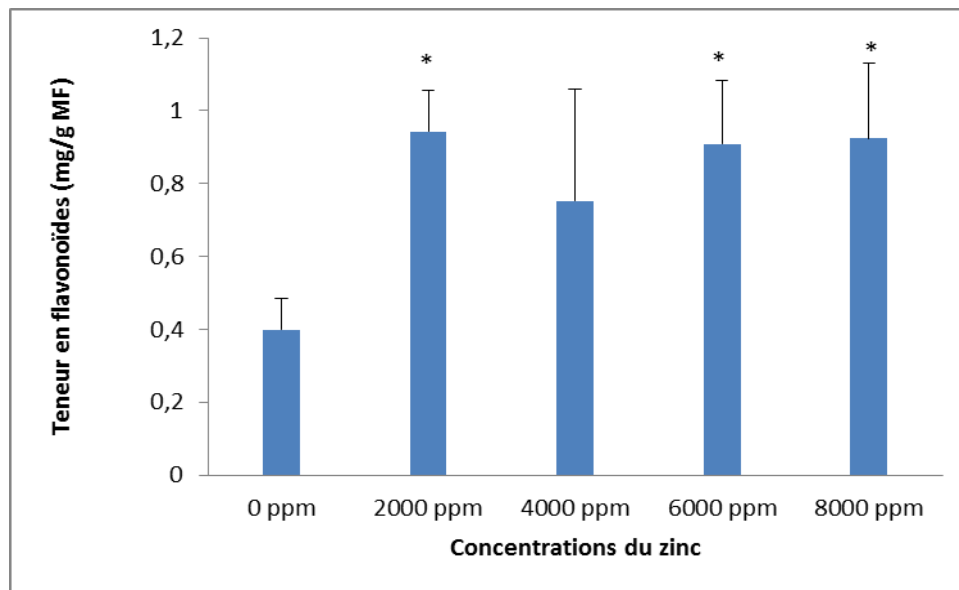


Figure 19. Teneur en flavonoïdes des feuilles de l'Atriplex halimus stressée au zinc.

* significatif à 5%

1.5. Influence du plomb sur la teneur en flavonoïdes

Les résultats de l'analyse de la variance (Tableau 10), montrent que les différentes concentrations de plomb influent de manière hautement significative ($p < 0.01$) sur la teneur en flavonoïdes des feuilles de l'Atriplex halimus.

Tableau 10. Analyse de la variance de la teneur en flavonoïdes l'Atriplex halimus stressée au plomb.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
	4	0,723	0,181	7,523	0,005

L'analyse de l'histogramme présenté dans la figure 21, révèle que la teneur en flavonoïdes des feuilles augmente sous l'effet des différentes concentrations de plomb et s'accumulent de manière significative atteignant (0.845 mg/g MF) lors de l'application de 6000 ppm de plomb, et d'une manière hautement significative à 8000 ppm (0.906 mg/g MF) comparativement à témoin 0.398 mg/g MF .

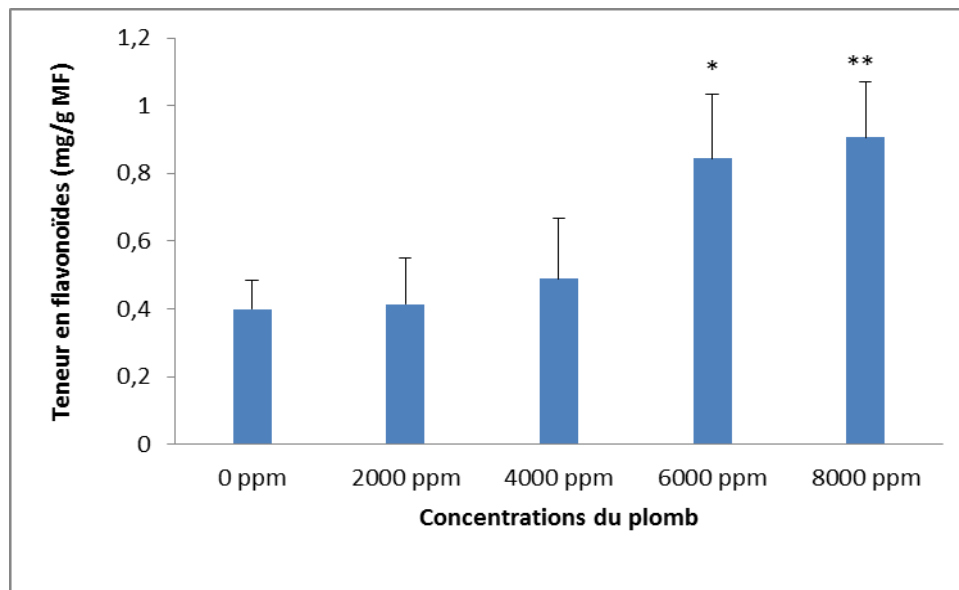


Figure 20. Teneur en flavonoïdes des feuilles de l’*Atriplex halimus* stressée au plomb.

* significatif à 5%, ** significatif à 1%

1.6. Influence du cadmium sur la teneur en flavonoïdes

Les résultats de l’analyse de la variance (Tableau 11), montrent que les différentes concentrations de cadmium influent de manière significative ($p = 0.05$) sur la teneur en flavonoïdes des feuilles de l’*Atriplex halimus*.

Tableau 11. Analyse de la variance de la teneur en flavonoïdes l’*Atriplex halimus* stressée au cadmium.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
	4	0,250	0,062	3,294	0,05

L’analyse des résultats (figure 22) montre que la teneur en flavonoïdes des feuilles augmente sous l’effet des différentes concentrations de cadmium. Cette augmentation est significative sous le traitement 500 ppm avec une valeur de 0.776 mg/g MF par rapport au témoin.

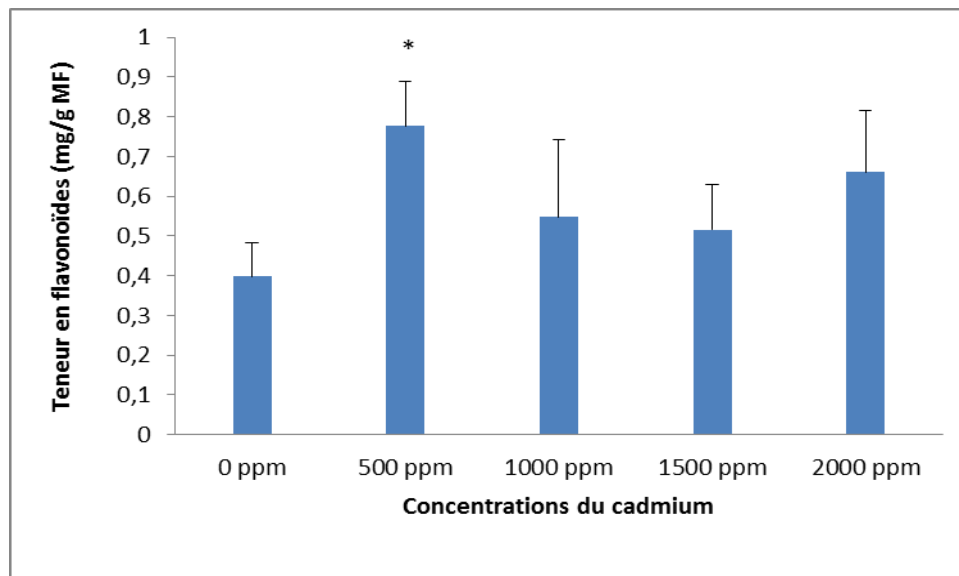


Figure 21. Teneur en flavonoïdes des feuilles de l'*Atriplex halimus* stressée au cadmium.

* significatif à 5%

2. Discussion

En fonction des résultats que nous avons obtenus grâce à nos travaux, concernant les teneurs en polyphénols, nous avons remarqué une légère augmentation non significative dans les feuilles de l'*Atriplex halimus* sous stress métallique de plomb (2000, 4000, 6000 et 8000 ppm), de cadmium (500, 1000, 1500 et 2000 ppm) et ils sont légèrement diminués d'une façon non significative lorsque des concentrations 2000, 4000, 6000 et 8000 ppm de zinc comparativement à la plante témoin. Ces résultats sont conformes à ceux obtenus par **Sgherri et al., (2007)**, où il a constaté une augmentation des polyphénols en raison du stress métal à *Vicia faba L.* (**Neggaz et Reguieg, 2018**), chez *Raphanus* sous stress de plomb (**Rastgoo et al., 2011**) pour *Æluropus* sous l'influence de métaux lourds (Pb, Co, Cd, Ag). Les composés phénoliques sont impliqués dans plusieurs mécanismes qui permettent à la plante de s'adapter à son environnement (**Macheix et al., 2005**).

L'accumulation de polyphénols dans les végétaux exposés directement à différents stress s'explique par la stimulation de la production de polyphénol oxydase, qui est une enzyme de voie métabolique clé menant à la formation de polyphénols (**Levent-Tuna et al., 2008**).

Des études ont montré que la présence d'ETM, en particulier de Cu et de Pb, dans le sol augmente la production de composés phénoliques (**Kovacik et Klejdus, 2008 ; Pawlak-Sprada et al., 2011 ; Hamid et al., 2010**).

La forte accumulation de polyphénols dans la plante soumise à des contraintes avec des métaux lourds (zinc, plomb et cadmium) est une réponse aux contraintes métalliques, contrairement à ceux sans contraintes où les polyphénols sont faibles, car selon (**Macheix et al., 2005**), l'accumulation de polyphénols pourrait jouer un rôle essentiel dans l'équilibrage et l'adaptation de la plante. Les polyphénols permettent de prévenir la peroxydation des lipides membranaires et de capturer les radicaux hydroxyles, les superoxydes et les peroxydes, (**Anderson et al., 1996 ; Hu et al., 2005**). Élimination de la formation d'ERO par inhibition de certaines enzymes ou chélation d'ions métalliques, participant à sa production, la protection de son système de défense antioxydant (**Boudiaf, 2006**).

En effet, les polyphénols ont des groupements phénoliques hydroxy dans leurs structures et des propriétés antioxydantes sont partiellement attribuées, la capacité de ces composés naturels à emprisonner les radicaux libres comme les radicaux hydroxyles (OH°) superoxydes (O) (**Bartosz, 2003**).

Les polyphénols sont des molécules très intéressantes car elles peuvent prévenir les dégâts induits par les ROS (**Virgili et Marino, 2008**). En effet, outre la neutralisation des radicaux libres en captant des paires, elles pourraient accroître l'activité des enzymes antioxydantes (**Carange, 2010**).

Cette accumulation a plus d'importance dans les feuilles que dans les racines de la plante, à cet égard nombreux auteurs (**Abdel et al., 2006 ; Jonnala, 2010 ; Chaib et al., 2015**), ont montré la richesse des feuilles de céréales dans les polyphénols qui possèdent une grande puissance anti-oxydante.

Beaucoup d'études confirment une augmentation de l'action antioxydante sous l'influence des métaux lourds (**Lagriffoul et al., 1998 ; Baccouch et al., 2001 ; Dixit et al., 2001 ; Pal et al., 2002 ; Zacchini et al., 2003**).

Quant à la teneur en flavonoïdes et selon nos résultats, le stress métallique des plantes d'*Atriplex halimus* avec le zinc, le plomb et le cadmium a un effet significatif sur cette teneur dans les feuilles de cette plante. Ces résultats sont conformes à ceux obtenus par **Bendkhal et Denden (2012)**, qui ont étudié la teneur en anthocyanine (un groupe de flavonoïdes) dans le *gombo*, et qui démontrent que les anthocyanes augmentent en raison d'un stress abiotique, comme la salinité (**Rezazadeh et al., 2012**), et les métaux lourds (**Valko et al., 2006**). C'est ce que confirment **Sgherri et al., (2007)**, ont trouvé des niveaux élevés de flavonoïdes dans

les semis de *Vicia faba* soumis au stress des métaux lourds par rapport au témoin. **Morris (1995)**, indique que les flavonoïdes sont de bons agents chélatants des métaux lourds.

La bibliographie suggère que le stress oxydatif est un facteur de toxicité des métaux lourds. **(Stohs et Bagchi, 1995 ; Ercal et al., 2001 ; Galaris et Evangelou, 2002 ; Valko et al., 2006)**. La pollution par les métaux lourds constitue un excellent moyen de tester les mécanismes antioxydants responsables de l'adaptation physiologique de la plupart des espèces végétales **(Valko et al., 2006)**. En fait, les composés phénoliques et surtout les flavonoïdes sont reconnus comme des substances potentiellement antioxydantes ayant la capacité de piéger des espèces radicales et des formes réactives d'oxygène **(Jovanovic et al., 1994)**.

La plupart des contraintes environnementales produisent un choc oxydatif dans la plante qui se traduira par la production de radicaux libres et de formes activées d'oxygène **(Parent et al., 2008)**, comme le peroxyde d'oxygène (H_2O_2), les radicaux superoxydes ($O_2^{\cdot-}$) et hydroxyl (OH^{\cdot}), sont produites durant les processus cellulaires aérobie et plus largement à cause du stress abiotique **(Foyer et Noctor, 2000 ; Hernández et al., 2000 ; Appel et Hirt, 2004 ; Tausz et al., 2004 ; Logan, 2005 ; Brosché et al., 2010)**. Lorsque ces composés s'accumulent en faible quantité, ils peuvent être considérés comme un signal pour induire l'expression de gènes de réponse et de défense cellulaires **(Parent et al., 2008)**. La production excessive de ces composés cause des dommages oxydatifs et ils deviennent toxiques pour la cellule **(Mahajan et al., 2008)**. Ces molécules actives dégradent les lipides membranaires et sont responsables de dommages irréversibles pour la plante **(Parent et al., 2008)**. Le radical hydroxyle, par exemple, peut endommager la chlorophylle, les protéines, les structures nucléiques et lipidiques, ce qui nuit au métabolisme cellulaire, à la physiologie des plantes et, en fin de compte, à la croissance et au rendement **(Frankel, 1984 ; Imlay et Linn, 1986)**. Par conséquent, les plantes doivent constamment déployer leurs mécanismes de défense pour compenser ces dommages. Pour éliminer ces formes actives d'oxygène, les plantes disposent d'antioxydants tels que les composés phénoliques et les flavonoïdes **(Ashraf, 2008)**.

Conclusion

Conclusion

Dans nos travaux de recherche, nous avons analysé les effets de trois métaux lourds cadmium, zinc et plomb sur les semis d'*Atriplex halimus*.

Pour mieux comprendre les mécanismes par lesquels les métaux lourds sont transférés du sol aux plantes, il est nécessaire de comprendre les teneurs de métaux lourds que les organes des plantes peuvent accumuler.

Les résultats obtenus montrent :

- ❖ Les polyphénols (phénols totaux et flavonoïdes) sont considérés comme des antioxydants pour les plantes qui les protègent de la pollution du sol par les métaux lourds.
- ❖ Les teneurs en phénols totaux enregistrent une légère accumulation chez les feuilles d'espèce *Atriplex halimus* en présence des métaux lourds (Cd, Zn et Pb). Toutes ces modifications observées pourraient être prises comme biomarqueurs de toxicité des métaux lourds sur la plante.
- ❖ Les teneurs en flavonoïdes enregistrent une accumulation importante chez les feuilles d'espèce *Atriplex halimus* en présence des métaux lourds (Cd, Zn et Pb). Toutes ces modifications observées pourraient être prises comme biomarqueurs de toxicité des métaux lourds sur la plante.
- ❖ La réponse des phénols totaux et des flavonoïdes des plantes d'*Atriplex halimus* vis à vis d'un stress métallique varie selon l'intensité du stress.
- ❖ L'*Atriplex halimus* a un système décent impliquant la détoxification des espèces réactives de l'oxygène pour surmonter le stress causé par le cadmium, le zinc et le plomb, des caractéristiques qui peuvent être utilisées comme biomarqueurs du stress oxydatif.
- ❖ L'*Atriplex halimus* peut être exploité dans la perspective de son utilisation pour la dépollution des sols à travers des approches de phytoremédiation. Celles-ci pourraient fournir un modèle intéressant pour l'étude des mécanismes d'exclusion des métaux. Où il peut être considéré comme un filtre de sol contaminé par les métaux lourds.

RÉFÉRENCE
BIBLIOGRAPHIQUE

RÉFÉRENCE BIBLIOGRAPHIQUE

A

- **Abdel-Aal ESM, Young JC, Rabalski I. 2006.** Anthocyanin composition in black, blue, pink, purple, and red cereal grains. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*.28; 54 (13), 4696 -704.
- **Adams G.O., Tawari-Fufeyin P., Igelenyah E., 2014.** Bioremediation of spent oil contaminated soils using poultry litter. *Research Journal in Engineering and Applied Sciences*. Vol.3.N°2. pp: 124-130.
- **Adriano D.C. (2001).** Trace elements in terrestrial environment: Biochemistry, bioavailability and risks of metals, 2nd Edition. New York: Springer-Varlag. Sutherzan S.2001. Natural and Enhanced Remediation Systems. CRC Press, 6 août 2001 p440.
- **Aharonson Z., Shani J., Sulman F.G. (1969).** Hypoglycaemic effect of the salt bush (*Atriplex halimus*) - a feeding source of the sand rat (*Psammomys obesus*), *Diabetologia*, 5, 379-383.
- **Alik S., Belkacem L., 2015.** Essai de remédiation d'un sol pollué aux hydrocarbures par la technique de la biostimulation. Mémoire Master. UMMTO. 26p.
- **Al-Mailem D.M., Al-Deieg M., Eliyas M., Radwan S. 2017.** Biostimulation des microorganismes indigènes pour la bioremédiation des microcosmes hypersaliens huileux du golfe arabe les régions koweïtiennes. *Journal of Environmental Management*. Vol.193, pp : 576-583.
- **Al-Owaimer A.N., El-Waziry A.M., Koohmaraie M., Zahran S.M. (2011).** The use of ground date pits and *Atriplex halimus* as alternative feeds for sheep”, *Aust. j. Basic Applied Sci.*, 5(5), 1154-1161.
- **Al-Turkis T.A., Omer S., Ghafoor A. (2000).** A synopsis of the genus *Atriplex halimus* L, (Chenopodiaceae) in Saudi Arabia, *Feddes Repert*, 111, 261-293.
- **Al-Turkis T.A; Omer. S; Ghafoor. A, 2000.** A synopsis of the genus *Atriplex halimus.L*, (*Chenopodiaceae*) in *Feedes Repert*, 111,261-293.
- **Alzieu, C., 1999.** Dragages et environnement marin. État des connaissances, Editions ifremer, 223 p.
- **Anderson CM, Hallberg A, Hogberg T. 1996.** Advances in the development of pharmaceutical antioxidant drug. *Food Chemistry*. 28, 65-180.

- **Anderson O.E., Mc Arthur E.D., Stutz H.C., 1989.** A relationship between polyploidy and habitat in western shrub species. USDA Forest Service General Technical Report, 256: 23-30.
- **Anonyme, S 2000.** *Atriplex halimus*, family Chenopodiaceae. Tree species N° TTS4., 1-2.
- **Appel, K. et Hirt, H., 2004.** Reactive Oxygen Species: Metabolism, Oxidative Stress, and Signal Transduction. Annual Review of Plant Biology, Vol. 55 : 373-379.
- **Ashraf, M., 2008.** Biotechnological approach of improving plant salt tolerance using antioxidants as markers. Biotech Adv, Vol. 27 : 84–93.
- **Atlas R.M. 1981.** Microbial degradation of petroleum hydrocarbons : an environmental perspective. Microbiological Reviews. Vol.45. pp : 180-209.
- **Attia F. 2007.** Effet du stress salin sur le comportement écophysiological et la maturité Pyrenées. Thèse de doctorat en sciences agronomiques. L'institut National Polytechnique de Phénologie de la vigne *Vitis vinifera L* : Etude de cinq cépages autochtones miditoulouse, France. P 194.

B

- **Baatour, O., M'rah, S., Ben Brahim, N., Boulesnem, F., Lachaal, M., (2004).** Réponse physiologique de la gesse (*Lathyrus sativus*) à la salinité du milieu. Revue des Régions Arides, Tome 1, No. spécial: 346- 358.
- **Baccouch S, Chaoui A, El Ferjani E. 2001.** Nickel toxicity induced oxidative damage in *Zea Mays* shoot. Journal of Plant Nutrition.24, 1085-1097.
- **Bailey J.A and J. W. Mansfield, 1982.** Phytoalexins. **Blackie and Son Ltd. Cahill D.M et J.A. Mccomb, 1992.** Acomparision of changes in phenylalanine ammonia-lyase activity, lignin and phenolic synthesis in the root of *Eucalyptus calophylla* (field resistant) and *E. marginata* (susceptible) when infected with *Phytophthora cinnamomi*. Physiol. Mol. Plant Patho/, 40,315-332.
- **Baize D., 2000.** Guide des analyses en pédologie. Edition I.N.R.A, Paris, p 257.
- **Balasundram N., Sundram K., Samman S. (2006).** Phenolic compounds in plants and agri industrial by-products: antioxidant activity, occurrence, and potential uses. Analytical, nutritional and Methods. Food Chemistry, 99 : 191-203.
- **Ballerini D., 1999.** La restauration par voie microbiologique des sols contaminés par les polluants organiques. Biotechnologie. Coordinateur R Scriban. 5éme édition. Edition Tech et Doc. P 835-865.

- **Ballerini D., Kandecastele., 1999.** Traitements biologique des sols .Technique de l'ingénieur, traité Environnement. G 2 620. P 1- 6.
- **Ballerini d., Vandecastele J.P., 1999.** La restauration par voie microbiologique des sols contaminés par les polluants organiques. In : biotechnologie, coordinateur R. Scriban, 5ém édition, Edition TECH et DOC. 392 p.
- **Bartosz G. 2003.** Generation of reactive oxygen species in biological systems. Comments on toxicology.9, 5-21.
- **Belaid N. 2010.** Évaluation des impacts de l'irrigation par les eaux usées traitées sur et phytoabsorption des éléments métalliques. Thèse de doctorat. Université de les plantes et les sols du périmètre irrigué d'El Hajeb-Sfax : salinisation, accumulation limoges.
- **Belkhodja, M., et Bidai, Y., (2004).** Réponse des graines *Atriplex halimus* la salinité au stade germination sécheresse 15 (04).
- **Belouad A. (2001).** Plantes médicinales d'Algérie, éd. office des Publications Universitaires, Alger, 284 p.
- **Ben Ahmed H., Zid E., El Gazzah M. et Grignon C., 1996.** Croissance et accumulation ionique chez *Atriplex Halimus L.* Cahiers Agricul 5.p.367-372.
- **Ben Ayed, H., 1975.** Un outil pour l'aménagement pastoral des zones arides: les collections et les vergers à graines de plantes fourragères à El Grin. Bull infor INRF (Tunisie), Vol. 19: 1-9
- **Bendkhal, B. and Denden, M., 2012.** Effect of salt stress on growth, anthocyanins membrane permeability and chlorophyll fluorescence of okra (*Abelmoschus esculentus*) seedlings. American Journal of Plant Physiology, Vol. 7 (4): 174183.
- **Benhammou N., Bekkara F.A., Panovska T.K. (2009).** Antioxidant activity of methanolic extracts and some bioactive compounds of *Atriplex halimus*, C.R. Chimie, 12, 1259-1266.
- **Benrebiha F Z., 1987.** Contribution à l'étude de la germination de quelques espèces d'*Atriplex* locales et introduites. Thèse Magister. Univ., Annaba. p. 119.
- **Benrebiha F.Z., 1987.** Contribution à l'étude de la germination de quelques espèces d'*Atriplex* locales et introduites. Thèse de magister, Institut national agronomique El Harrach, Algérie, 119 p.
- **Benrebiha F.Z., Pourrat Y. et Dutuit P., 1992.** Induction de la callogenèse chez l'*Atriplex halimus* sur des milieux de culture dépourvus d'hormones de croissance. Rôle des éléments minéraux. Bull. Soc. Bot. Fr, 139, Lettres Bot; 3: 219-222

- **Bergue J.M., Mérienne D. 1986.** La pollution des sols par les hydrocarbures in nature. Bull, liaison labo P. et ch.-146.pp : 57-66.
- **Berri, R., (2008).** Contribution à la détermination de la biomasse consommable d'une halophyte : *Atriplex*. Univerité Kasdi Merbah, Ouargla. P: 15-19.
- **Bert V, Deram A. 1999.** Guide des phytotechnologies : utilisation des plantes dans la dépollution et la réhabilitation des sites contaminés par les métaux lourds, France, environnement et développement alternatif.
- **Bewley J., 1997.** Seed germination and dormancy. Plant cell 9, p : 1055-1066.
- **Bicocchi, S., 1998.** Les polluants et techniques d'épuration des fumées : Cas des unités de destruction thermique des déchets. Record. Paris (France) Tch et Doc, 188 p.
- **Blaylock MJ, Salt DE, Dushenkov S, Zakharova O, Gussman C. 1997.** Enhanced accumulation of Pb in Indian mustard by soil-applied chelating agents; Environmental Science and Technology. 31, 860-65.
- **Blaylock MJ, Huang JW. 2000.** Phytoextraction of metals. In: phytoremediation of toxic metals: using plants to clean up the environment", Eds. Raskin I., Ensley B.D., New York. 53- 71.
- **Bonnet, M., Camares, O. et Veisseire, P., 2000.** Effect of zinc and influence of acromonium aolli on growth parameters, chlorophyll a fluorescence and antioxidant enzyme activity.
- **Bossard I., Bartha R., 1984.** The fat of petroleum in soil ecosystems. In Atlas R.M. (Ed.), Petroleum Microbiology. Macmillan. New York, p: 440-445.
- **Bouchikh-Boucif, Y., Labani, A., Benabdeli, K., et Bouhelouane, S, 2014.** Allelopathic Effects of Shoot and Root Extracts From Three Alien and Native Chénopodiaceae Species on Lettuce Seed Germination. Mémoire en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Biologie. University of Moulay Taher, Saida, Algeria. P: 52-53/55.
- **Bouda S., Haddioui A., 2011.** Effet du stress salin sur la germination de quelques espèces du genre *Atriplex*. Nature et Technologie, 5:72-79.
- **Bourgou S, Ksouri R, Bellila A, Skandarani I, Falleh H, Marzouk B., 2008.** Phenolic composition and biological activities of Tunisian *Nigella sativa L.* shoots and roots. C.R. Biol 331: 48-55.
- **Bourelrier P et Berthelin J, 1998.** Contamination des sols par les éléments traces: les risques et leur gestion. Rapport de l'Académie des sciences Ed. Lavoisier, Paris. P 42.

- **Boussaid M., Ben Fadhel N., Zaouali Y., BenSalah A., Abdelkefi A., 2001.** Plantes pastorales en milieux arides de l'Afrique du Nord, Options Médit., 46, 55-59.

C

- **Carange J. 2010.** Rôle antioxydant et anti-apoptotique des brassinostéroïdes, une nouvelle stratégie de neuroprotection, Mémoire en biophysique et biologie cellulaires présenté à l'université du québec à trois-rivières. P 13-22.
- **Carver T. L.W., R.J. Zeyen, M.P. Robbins., C.P. Vance and D. A. Boyles, 1994.** Suppression of host cinnamyl alcohol dehydrogenase and phenylalanine ammonia lyase increases oat epidermal cell susceptibility to powdery mildew penetration. *Physiol. Mol. Plant Pathol.* 44, 243-259.
- **Castra J., Pérez S., Riquelme E., 1977.** Evaluation of *thornless prickly pear silages* as a feedstuff for ruminants. *Proceedings Western Section American Society of Animal Science*, 28: 127-128
- **Castroviejo, S., Lainz, M., Lopez Gonzalez, G., Montserrat, P., Munoz Garmendia, F., Paiva, J. and Villar, L., 1990.** In *Flora Iberica Plantanaceae-Plumbaginaceae* (partim), vol. 2, Real Jardin Botanico, Ed, CSIC, Madrid, 503-513.
- **Chaib GH, Bouchelaleg A, Talbi R. 2015.** Etude phytochimique de quelques variétés de blé tendre (*Triticum aestivum*) et d'orge (*Hordeum vulgare*) et leurs activités biologiques. *European Scientific Journal*. 11(30), 1857-1881.
- **Ch-rivet A. and C. El Modafar, 1994.** Vascular modifications in *Platanus acerifolia* seedlings inoculated with *Ceratocystis fimbriata.sp platani*. *Eur. J. For Path.*, 24, 1-10.
- **Choukr Allah, R., Hamdy, A. et Lahmer, F.Z., 1997.** Germination d'*Atriplex halimus* dans des milieux salés. *International Conference on Water Management, salinity and pollution control towards sustainable irrigation in the mediterranean region*, iam valenzano Bari (Italy), 22-26 September 1997, 209 p.
- **Clemente, R., Escolar, A., Bernal, M.P. 2006.** Heavy metals fractionation and organic matter mineralisation in contaminated calcareous soil amended with organic materials. *Bioresour Technol*, 97(15), 1894-901.
- **Croque Paysage, Val-David, 05 2020.** Le processus de germination d'une semence Accueil, Articles, Le Processus de Germination D'une Semence 2097 Route 117 Val-David, Québec , Info@Croquepaysage.Com

- **Cuypers B., E. Schmelzer et K. Hahlbrock, 1988.** In situ localization of rapidly accumulated phenylalanine ammonia-lyase mana around penetration sites of *Phytophthora infestans* in potato leaves. Mol. Plant Microb. Inter., 1, 157-160.

D

- **Dacosta E. Silva O., L. Klein, E. Schmelzer, G.F. Trezzini et K. Hahlbrock, 1993.** BPF-1, a pathogen-induced DNA-binding protein involved in the plant defense response. Plant J., 4, 125-135.
- **Dean R.A and J. Kuc, 1986.** Induced systemic protection in cucumbers: the source of the " signal ". Physiol. Mol. Plant Pathol, 28, 227-233.
- **Debez A., Chaibiw., Bouzid S. (1998).** Réponse physiologiques et structurales d'*Atriplex halimus L* au stress salin, rapport sci. Projet STD 3 N° TS3 CT94 0264, Paris, 17 p.
- **Dixit V, Pandey V, Shyam R. 2001.** Differential oxidative responses to cadmium in roots and leaves of pea (*Pisum sativum L.* Cv.Azad). Environmental and Experimental Botany. 52,1101-1109.
- **Dixon R.A., M.J. Harrison et N.L. Paiva, 1995.** The isoflavonoid phytoalexin pathway : from enzymes to genes to transcription factors. Physiol. Plant., 93, 385-392.
- **Dubery I.A. 1990.** Effect of hydroxylated and methoxylated coumarins on the regulatory properties of phenylalanine ammonia-lyase from *Citrus sinensis*. Phytochemistry, 29, 2107-2108.
- **Dudois S., 2007.** Les hydrocarbures dans le monde : Etats de lieux et perspectives. Edition ellipses, 418p.
- **Dutuit P., Y. Pourrat, V.L. Dodeman.** L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides. Ed. AUPELPUREF. John Libbey Eurotext. Paris 1991, pp. 65-73.
- **Dutuit, P., 1999.** Etude de la diversité biologique de l'*Atriplex halimus* par le repérage in vitro et in vivo d'individus résistants à des conditions extrêmes du milieu et constitution de clones. Université de Paris-Sud. CTA. Contrat TS3. CT94., Vol. 264: 138-141.

E

- **Ebbs SD, Kochian LV., 1997.** Toxicity of zinc and copper to Brassica species: implication for phytoremediation. Journal of Environmental Quality. 26, 776-781.
- **Edwards R., M. Mavandad et R.A. Dixon, 1990.** Metabolic fate of cinnamic acid in elicitor treated cell suspension cultures of *Phaseolus vulgaris*. Phytochemistry, 29, 1867-1873.

- **El Modalar C., A. Clerivet, A. Fleuriet and J.J. Macheix, 1993.** Inoculation of *Platanus acerifolia* with *Ceratocystis fimbriata f. sp platani* induces scopoletin and umbelliferone accumulation. *Phytochemistry*, 34, 1272-1276.
- **EL-Shantnazi, MJ and Mohazesh, Y., M., 2000.** Seasonal chemical composition of saltbush in semi arid grasslands of Jordan. *J. range Manag.* Vol. 53. P: 211-214.
- **El-Shintinawy F, Hassanein RA. 2001.** Change in growth, protein patterns and DNA Fingerprints of NaCl stressed treated with arginine, putrescine or phenylenediamine. *Egyptian Journal of Biotechnology*.10, 405-415.
- **Emam S.S. 2011.** Bioactive constituents of *Atriplex halimus* plant, *J.Nat. Prod.*, 4, 25-41.
- **Ercal N, Gurer-Orhan, H and Aykin-Burns, N., 2001.** “Toxic Metals and Oxidative Stress part I: Mechanisms Involved in Metalinduced Oxidative Damage. “ *Current Topics in Medicinal, Chemistry*, Vol. 1: 529-539.
- **Evangelou MWH, Ebel M, Schaeffer A. 2007.** Chelate assisted phytoextraction of heavy Metals from soil. Effect, mechanism, toxicity, and fate of chelating agents. *Chemosphere*. 68,9891003.

F

- **Farissi M., Ghoulam C., Bouizgaren A. 2013.** Evaluation de la variabilité des populations marocaines de luzerne issues de différents agro-écosystèmes pour la tolérance à la salinité au stade germination, *Fourrages*, 216, 329-332
- **Fares., R et Sédairia., L, 2021.** Stress abiotiques sur *Atriplex halimus L.* Effet de métaux lourds sur et caractérisation des biomarqueurs p 41.
- **Ferchichi, O.H., 2005.** Effect of mineral concentration of culture media without growth substances on the callogenesis of *Atriplex halimus L.* *African journal of biotechnology*, Vol. 4 (9): 960-962.
- **Ferchichi, O.H., Harzallah, H., Bouzid, S. et Rejeb, N., 1997.** Contribution à l'étude de la biologie florale chez *Atriplex halimus*: influence des facteurs environnementaux sur la phénologie de la floraison, in: *Étude de la diversité biologique de l'Atriplex halimus pour le repérage in vitro et in vivo d'individus résistants à des conditions extrêmes du milieu et constitution de clones*, rapport annuel du projet STD 3 no TS 3 CT 940264, Paris, 6 p.
- **Feucht W., D. Treutter and E. Christ, 1992.** The precise localization of catechins and proanthocyanidins in protective layers around fungal infections. *Z. Pflkrankh. Pflschutz.*, 99, 404-413

- **Foyer, C.H. et Noctor, G., 2000.** Oxygen processing in photosynthesis: regulation and signaling. *New Phytol.* Vol. 146: 359-388.
- **Frankel, O.H., 1984.** Genetic perspectives of germplasm conservation. Arber, W., Ilimensee, K. and Peac W. J. In: *Genetic Manipulation: Impact on Man and Society*, 161-170.
- **Francllet A. et Le Houerou H.N., 1971.** *L'Atriplex* en Tunisie et en Afrique du nord. Rome : O.N.U/F.A.O, p271
- **Francllet A., Le Houérou H.N. 1971.** *Les Atriplex* en Tunisie et en Afrique du Nord, Doc. Tech. N° 7, FAO, rome, 249 p.

G

- **Gabet S., 2004.** Remobilisation d'hydrocarbures Aromatique Polycyclique (HAP) présents dans les sols contaminés à l'aide d'une tension d'origine biologique. Thèse doctorat. Université de Limoges. 177p.
- **Gaffney T., L. Friedrich, B. Vernooij, D. Negrotto et G. Nye, 1993.** Requirement of salicylic acid for the induction of systemic acquired resistance. *Science*, 261,754-756.
- **Galaris, D. et Evangelou, A., 2002.** The role of oxidative stress in mechanisms of metal-induced carcinogenesis. *Crit Rev Onco Hemato.*, Vol. 42 (1): 93-103.
- **Gale, J., Naaman, R. and Poljakopp-Mayber, A., 1970.** Growth of *Atriplex halimus L.* in sodium chloride salinated culture solutions as affected by the relative humidity of the air. *Ausf. J. Biol. Sci.*, Vol. 23: 947-952.
- **Glazebrook J. and F.M. Ausubel, 1994.** Isolation of phytoalexin-deficient mutants of *Arabidopsis thaliana* and characterization of their interactions with bacterial pathogens. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.*, 91, 8955-8959.
- **Glenn, E.P, Brown, J.J. and Blumwald, E., 1999.** Salt tolerance and crop potential of halophytes. *Crit Rev Plant Sci.*, Vol. 18: 227-55.
- **Gold, C., 2002.** Etude des effets de la pollution métallique (Cd/Zn) sur la structure des communautés de diatomées périphtiques des cours d'eau. Approches expérimentales in situ et en laboratoire. Thèse de Doctorat. Université Bordeaux I, 175 p.
- **Goy P. A., H. Signer, R. Reist, R. Aicholz, W. Blum, E. Schmidt and H. Kessmann, 1993.** Accumulation of scopoletin is associated with the high disease resistance of the hybrid *Nicotiana glutinosa x Nicotiana debneyi*. *Planta*, 191, 200-206.

- **Graham M.Y. and T.L. Graham, 1991.** Rapid accumulation of anionic peroxidases and phenolic polymers in soybean cotyledon tissues following treatment with *Phytophthora megasperma f.sp glycinea* wall glucan. *Plant Physiol.*, 97, 1445-1455.
- **Graham T.L., J.E. Kim and M.Y. Graham, 1990.** Role of constitutive isoflavone conjugates in the accumulation of glyceollin in soybean infected with *Phytophthora megasperma*. *Molec. Plant-Microb. Inter.*, 3, 157-166.

H

- **Hager T., Howard L, 2009.** Berry fruit phytochemicals. *Berry Fruit*, CRC Press. Haliw
- **Hahlbrock K. and D. Scheel, 1989.** Physiology and molecular biology of phenylpropanoid metabolism. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Bioi.* 40, 347-369.
- **Hain R., H.J. Rei., E. Krausse. R. Langebartels, H. Kindl, B. Vornam, W. Wiese, E. Schmelzer, P.H. Schreier, R.H. Stocker et K. Stenzel, 1993.** Disease resistance results from foreign expression in a novel plant. *Nature*, 361, 153-156
- **Hamid N, Bukhari N, Jawaid F. 2010.** Physiological responses of *Phaseolus vulgaris* to different lead concentrations. *Pakistan Journal of Biological.* 42(1).
- **Harborne J.B., 1982.** Introduction to ecological biochemistry.
- **Harborne J.B., J. L. Ingham, L. King and M. Payne, 1976.** *Phytochemistry*, 15, 1485-1488.
- **Hernández, N.E., Tereschuk, M.L. and Abdala, L.R., 2000.** Antimicrobial activity of flavonoids in medicinal plants from Tafí Del Valle (Tucumán, Argentina). *Journal of ethnopharmacology*, Vol. 73: 317-322
- **Higazy, M.A., Shehata, M.M. and Allam, A.I., 1995.** Free proline relation to salinity tolerance of three sugar beet varieties. *Egypt. J. Agric. R.*, Vol. 73 (1): 175189.
- **Hochberg M. and Y. Cohen, 1977.** Scopoletin-induced catalase inhibition in tobacco leaves infected by *Peronospora tabacina* Adam. *Lsraih J. Bot.*, 26, 48.
- **Hurtado-Fernandez E., Romero M.G., Pancorbo A.C., 2010.** Application and potentiel of capillary electroseparation methods to determine antioxidant phenolic coumpounds from plant food meterial. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis.* 53: 1130-1160.
- **Hu ZZ, Narayanaswamy M, Ravikumar KE, Vijay-Shanker K, Wu CH. 2005.** Literature mining and database annotation of protein phosphorylation using a rulebased System. 27592765.

I

- **Ignat I., Volf I., Popa I.V. 2011.** A critical review of methods for characterization of polyphenolic compounds in fruits and vegetables. Food chemistry. 126: 1821-1835.
- **Inra A., 2006.** Algérie. Deuxième rapport national sur l'état des ressources phytogénétiques: organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture.
- **Imlay, J.A. and Linn, S., 1986.** Bimodal pattern of killing of DNA-repair-defective or anoxically grown *Escherichia coli* by hydrogen-peroxide. Journal of Bacteriology, Vol. 166 : 519-527.

J

- **Jenns A.E. and J. Kuc, 1979.** Graft transmission of systemic resistance of cucumber to anthracnose induced by *Colletotrichum lagenarium* and *tobacco necrosis virus*. Phytopathology, 7, 753-756.
- **Jonnala RS, Sibel I, Finlay M, Scott RB. 2010.** Phenolics in the bran of waxy wheat and *triticales* lines. Journal of cereal science.52, 509-515.
- **Jovanovic, S.V., Steenken, S., Tosic, M., Marjanovic, B. and Simic, M.G., 1994.** Flavonoids as antioxidants. J. Am. Chem. Soc., Vol. 116: 4846-4851.

K

- **Kayser A, Wenger K, Keller A, Attinger W, Felix H R, Gupta S K, Schulin R. 2000.** Enhancement of phytoextraction of Zn, Cd, and Cu from calcareous soil: The use of NTA And sulfur amendments. Environmental Science and Technology.34, 1778-1783.
- **Khan M. A., Duke N. C., 2001.** Halophytes- A resource for the future. Wetlands Ecology Management, 6: 455-456.
- **Khan, M.A., Ungar, I.A. and Showalte, A.M., 2000.** Effects of salinity on growth water relations and ions accumulation of the subtropical perennial halophyte *Atriplex griffithii*, Var Stocksir. Ed Ann. Bot., Vol. 85: 225-232.
- **Khedim Ikram, 2018.** Phytoremédiation par l'*Atriplex* planté dans des sols enrichis en cuivre, zinc, plomb et cadmium. Thèse de doctorat 3ème cycle LMD, Université Abdelhamid Ben Badis Mostaganem, p 1.
- **Kinet J.M., Benrebiha F.Z., Bouzid S., Lailhacar S., et Dutuit P., 1998.** Réseau *Atriplex*. Allier biotechnologies et écologie pour une sécurité alimentaire accrue en régions arides et semi-arides. Cahiers agricultures Vol.7, N°6, p.505-509.
- **Knežević S.V., Blazekwic B., Stefan M.B., Babac M. 2012.** Plant polyphenols as antioxidants influencing the human health. In: "Phytochemicals as nutraceuticals-global approaches to their role in nutrition and health. Edition Venketeshwer Rao : 155-180.

- **Komárek M, Tlustoš P, Száková J, Chrastný V, Ettlér V. 2007.** The use of maize and Induced phytoextraction of metals from contaminated agricultural soils. *Environmental Pollution*.151, 27-38.
- **Komárek M, Tlustoš P, Száková J, Chrastný V. 2008.** The use of poplar during a two-year poplar in chelantenhanced phytoextraction of lead from contaminated agricultural soils. *Chemosphere*. 67, 640-651. *Pollution*.151, 27-38.
- **Kovacik J, Klejdus B. 2008.** Dynamics of phenolic acids and lignin accumulation in metal Treated *Matricaria chamomilla* roots. *Plant Cell Reports*.27, 605-15.

L

- **Laake G.J., O. Faktor, C.J. Lamb and A.A. Dixon, 1992.** Combination of H-box [CCTACC (N), CT] and G-box (CACGTG) cis-elements is necessary for feedforward stimulation of a chalcone synthase promoter by the phenylpropanoid-pathway intermediate p-coumaric acid. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.*, 89, 9230-9234.
- **Laake G.J., A.D. Chaudhary, M.J. Harrison, M. Mavandad, C.J. Lamb and A.A. Dixon, 1991.** Phenylpropanoid pathway intermediates regulate transient expression of a chalcone synthase gene promoter. *Plant Cell*, 3, 829-840.
- **Lagriffoul A, Mocquot B, Mench M, Vangronsveld J. 1998.** Cadmium toxicity effects on growth, mineral and chlorophyll contents, and activities of stress related enzymes in young maize plants (*Zea mays L*). *Plant Soil*.200, 241250.
- **Lagrimini L. M, 1991.** Wound-induced deposition of polyphenols in transgenic plants overexpressing peroxidase. *Plant Physiol*, 96, 577-583.
- **Lauchli, L. et Epstein., E., 1990.** Plant response to saline conditions. In Tanji KK (Ed), *Agricultural Salinity Assessment and Management*, 113-137
- **Le Floch E. 1989.** Plantation d'arbustes fourragers. Bilan préliminaire de 30 ans de pastoralisme, rAB/84/025, FAO, 240 p.
- **Le Houérou .N. 1992.** The role of saltbushes (*Atriplex sp.*) in arid land rehabilitation in the mediteranean bassin: A review, *Agrof. Syst.*, 18, 107-146.
- **Le Houérou, H.N., 2000.** Use of fodder trees and shrubs (trubs) in the arid and semi-arid zones of West Asia and North Africa: history and perspectives. In: Gintzburger.
- **Le Houérou H. N., 2000.** Utilisation of fodder trees and shrubs in the arid and semiarid zones of west Asia and North Africa. *Arid Soil Research Rehabilitation*, 14: 101–135. [4].

- **Le Houerou H.N., 1981.** Impact of man and his animals on Mediterranean vegetation. In: Ecosystems of the world". Mediterranean-type shrublands, Elsevier, Amsterdam, N°11: 479-521.
- **Le Houérou H.N., 1992.** The role of saltbushes (*Atriplex spp*) in arid lands rehabilitation in the mediterranean basin. A review Agroferstry Systems; 18: 107-148.
- **Le Houérou H.N. 2004.** *Atriplex halimus* data sheet, Common wealth Agricultural Bureau International (CABI), Wallingford. UK, 1-19.
- **Le Houérou, N. et Pontanier, C., 1987.** Les plantations sylvo pastorales dans la zone aride de Tunisie, extrait de revue, pastoralisme et développement. «Montpellier » France.
- **Levent Tuna A, Kaya C, Dicitas M, Higgs D. 2008.** The combined effects of gibberellic acid and salinity on some antioxidant enzyme activities, plant growth parameters and nutritional status in *maize* plants. Environmental and Experimental Botany.62,19
- **Liste H., Alexander M., 2000.** Plant- promoted pyrene degradation in soil. Chemosphere. Vol.40. pp: 7-10.
- **Liyama K., T.B. Tuyet Lam and B.A. Stone. 1994.** Covalent cross-links in the cell wall. Plant Physiol., 104, 315-320.
- **Logan, B.A., 2005.** Reactive oxygen species and photosynthesis, in Antioxidants and Reactive Oxygen Species in Plants, ed. Smirnoff N., editor. (Oxford: Blackwell), 250267.
- **Lombi E, Zhao FJ, Dunham SJ, McGrath SP. 2001.** Phytoremediation of heavy Metal contaminated soils: natural hyper accumulation versus chemically enhanced Phytoextraction. Journal of Environmental Quality. 30, 1919-1926.
- **Lotmani B, Mesnoua M. 2011.** Effects of copper stress on antioxidative enzymes, chlorophyll and protein content in *Atriplex halimus*. African Journal of Biotechnology. 10(50), 10143-10148.
- **Luo C, Shen Z, Li X, Baker AJM. 2006.** The role of root damage in the chelate-enhanced Accumulation of lead by Indian mustard plants. International journal of Phytoremediation. 8,323-337.
- **Lutts, S., Martinez, J.P., Bajji, M. and Kinet, M., 2001.** Sodium implication in the response of the halophyte species *Atriplex halimus L.* to various abiotic stresses.

M

- **M., Foolad M.r. 2007.** Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance”, Environ. Exp. Bot., 59, 206-216.

- **Mâalem, S. and Rahmoune, C., 2009.** Toxicity of the salt and pericarp inhibition on the germination of some *Atriplex* species. American-Eurasian Journal of Toxicologic Sciences. Vol. 1, n°2, pp. 43-49
- **Mâalem, S., 2011.** Étude de l'impact des interactions entre le phosphore et le chlorure de sodium sur trois espèces végétales halophytes du genre *Atriplex* (*A. Halimus A. Nummularia A. canescence*). Thèse Doctorat. Université Baji Mokhtar, Annaba .P:100.
- **Mâalem, S., Khoufi, S., Rahmoune, C., et Bennacer, M., 2011).** Analyse moléculaire de la diversité génétique de plantes Xéro/Halophytes du genre *Atriplex* moyennant RAPD-PCR. Université Cheikh Lâarbi-Tbéssi. vol. 1, n° 1, P:50-59.
- **Maes E., Schadeck S., Brahy V., 2007.** Sol 5 – La contamination locale des sols. pp : 500- 519, in Chapitre [11]- Les sols et l'environnement terrestre.
- **Mahajan, S., Pandey, G.K. and Tuteja, N., 2008.** Calcium-and salt-stress signaling in plants: Shedding light on SOS pathway. Arch Biochem Biophys, Vol. 471: 146-158.
- **Maher E.A., N.J. Bate, W. Ni, Y. Elkind, A.A. Dixon and C.J. Lamb, 1994.** Increased disease susceptibility of *transgenic tobacco* plants with suppressed levels of preformed phenylpropanoid products. Proa, Nat/. Acad. Sci. USA., 91, 7802-7806.
- **Malamy J., J.P. Carr, D.F. Klessig and I. Raskin, 1990.** Salicylic acid: a likely endogenous signal in the resistance response of tobacco to viral infection. Science, 250, 1002-1004.
- **Martin S et Andriantsitohaina R. 2002.** Mécanismes de la protection cardiaque et vasculaire des polyphénols au niveau de l'endothélium. Annales de cardiologie et d'angiologie 51, 304-315.
- **Macheix JJ., Fleuriet A., Chritian JA. 2006.** Composés phénoliques dans la plante-structure, biosynthèse, répartition et rôles In : les polyphénols en agroalimentaire». Édition Lavoisier: 1-27.
- **Macheix JJ, Fleuriet A and Jay-Allemand C. 2005.** Les composés phénoliques des végétaux: un exemple de métabolites secondaires d'importance économique. Ed. Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, 4-5.
- **Manach, C., Scalbert, A., Morand, C., Remesy, C. and Jimenez, L. 2004.** Polyphenols: food Sources and bioavailability. Am.J Clin Nutr. 79(5), 727-747.
- **Miquel, G., 2001.** Rapport sur les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé. N° 261 SENAT. Office parlementaire des choix scientifiques e technologiques, 365 p.

- **Maire R., 1962.** Flore de l'Afrique du nord, Vol. VIII. Ed. Paul le Chevalier, Paris, p.581-591
- **Malamy J. et D.F. Klessig, 1992.** Salicylic acid and plant disease resistance. *Plant J.*, 2, 643-654.
- **Martinez J.P., Ledent J.F., Bajji M., Kinet J.M. and LUTTS S., 2003.** Effect of water stress on growth, Na⁺ and K⁺ accumulation and water use efficiency in relation to osmotic adjustment in two populations of *Atriplex halimus L.* *Plant Growth Regulation*, 41: 63-73.
- **Martinez JP, Silva H, Ledent JF, 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*. 26 (1), 30-38.
- **Masters D.G., Benes S.E., Norman H.C. 2007.** Biosaline agriculture for forage and livestock production”, *Agri. Ecosys. Environ*, 119, 234-248.
- **Matern U., B. Grimmig and R. E. Kneusel, 1995.** Plant cell wall reinforcement in the disease resistance response: molecular composition and regulation. *Can. J. Bot.* (in press).
- **Medjdoub H. 2005.** Etude phytochimique et activité biologique de *Zygophyllum geslini* Coss., thèse magister, Université Tlemcen, 40 p.
- **Metraux J.P., H. Signer, J. Ryals, E. Ward, M. Wyss-Benz, J. Gaudin, K. Raschdorf, E. Schmidt, W. Blum and B. Inverardi, 1990.** Increase in salicylic acid at the onset of systemic acquired resistance in cucumber. *Science*, 250, 1004-1006.
- **Mo Y.Y., M. Geibel, R.F. Bonsall and D.C. Gross, 1995.** Analysis of sweet cherry (*Prunus avium L.*) leaves for plant signal molecules that activate the *chsB* gene required for synthesis of the phytotoxin, syringomycin, by *Pseudomonas syringae* pv *syringae*. *Plant Physiol.*, 107,603-612.
- **Moestra P. and H. Grisebach, 1982.** L-2-aminooxy-3-phenylpropionic acid inhibits phytoalexin accumulation in soybean with concomitant loss of resistance against *Phytophthora megasperma f. sp. glycinea*. *Physiol. Plant Pathol*, 21, 65-70.
- **Moria C. Nishino, N. Enoki and S. Tawata, 1987.** Antimicrobial activity and mode of action of plant flavonoids against *Proteus vulgaris* and *Staphylococcus aureus*. *Phytochemistry*, 26, 2231-2234.
- **Morris, J.T., 1995.** The salt and water balance of intertidal sediments: results from North inlet, South Carolina. *Estuaries*, Vol. 18: 556-567.

N

- **Najar T., H elali S., Nasr H. 2011.** Valorisation des plantes tol erantes   la salinité par les petits ruminants. *Options M dit.*, 97, 73-77.
- **Nazari-Dashlibrown, P., 1997.** Plantation of fodder shrubs in arid and semi-arid zones of Iran. *CIHEAM-Options Mediterraneennes*, 143-146.
- **Nedjimi B. 2012.** Seasonal variation in productivity, water relations and ion contents of *Atriplex halimus* spp. *schweinfurthii* grown in Chott zehrez wetland, Algeria, *J. Saudi Soc. Agri. Sci.*, 11, 43-49.
- **Nedjimi B., 2012.** *Atriplex halimus* subsp. *schweinfurthii* (Chenopodiaceae): A native species in salt steppes of Algeria – A Review. In: Iluvia Marín and Dimos Kova  (Eds.) *Native Species: Identification, Conservation and Restoration*. Nova Science Publishers, Inc. New York: 155-168.
- **Nedjimi B., Beladel B., Guit B. 2012.** Biodiversity of halophytic vegetation in Chott Zehrez Lake of Djelfa (Algeria), *American J. Plant Sci.*, 3, 1513-1660.
- **Nedjimi B., Daoud Y. 2008.** Influence du NaCl sur le comportement d’une espèce halophyte Alg rienne (*Atriplex halimus* subsp. *schweinfurthii*)”, *Ann. Inst. Nat. Agr.*, 29, 121-135.
- **Nedjimi B., Daoud Y. (2009a):** “Effects of calcium chloride on growth, membrane permeability and root hydraulic conductivity in two *Atriplex* species grown at high (sodium chloride) salinity”, *J. Plant Nutr.*, 32, 1818-1830.
- **Nedjimi B., Daoud Y. (2009b):** “Ameliorative effect of CaCl₂ on growth, membrane permeability and nutrient uptake in *Atriplex halimus* subsp. *schweinfurthii* grown at high (NaCl) salinity”, *Desalination*, 249, 163-166.
- **Nefzaoui A., Chermiti A. 1991.** Place et r les des arbustes fourragers dans les parcours des zones arides et semi arides de la Tunisie, *Options M dit.*, 16, 119-125.
- **Neggaz NE, Reguieg Yssaad HA. 2018.** Effect of lead stress on polyphenols, flavonoids, and proline contents in radish (*Raphanus sativus* L.). *International Journal of Biosciences*.12(5) ,135-144.

Q

- **Osman, A.E. and Ghassali, F., 1997.** Effect of storage conditions and presence of fruiting bracts on the germination of *Atriplex halimus* and *Salsola vermiculata*. *Expl. Agric.*, Vol. 33: 149-156.

- **Osmond C B, Bjorkman O, Anderson DJ. 1980.** Physiological process in plant ecology. Toward a synthesis with *Atriplex*. In Ecological studies. 36, Springer-Verlag (Berlin), 468 p.
- **Osmond B.C., 1978.** Crassulacean acid metabolism: a curiosity in context. Ann. Rev. Plant Physiology, 29:379-414.
- **Ozenda P., 1983.** Chénopodiacées : Flore du Sahara. Paris: CNRS, p.221-228
- **Pearce R.S., 1999** – molecular analysis of acclimatation to cold. Plant growth regulation Kluwer publishers 29, p.47-76
- **Ozenda P., 1983.** Flore du Sahara. Ed., Doin, Paris, 558.
- **Ozenda. P, 2004.** Flore et végétation du Sahara. 3ème édition, CNRS Editions, Paris.
https://www.florealpes.com/comparaison.php?compar_code_1=ranunculuscirci&compar_code_2=atriplexhal&zoomph2=0&zoomph1=2&PHPSESSID=00b85e2dfd3b7ff8cc697e63933e2d2b

P

- **Pal M, Szalai G, Horvath E, JandaT, Paldi E. 2002.** Effect of salicylic acid during heavy metal stress. Acta Biologica Szegediensis.46, 119-120.
- **Parent, C., Capelli, N. and Dat, J., 2008.** Reactive oxygen species, stress and cell death in plants. Comptes rendus Biologie, Vol. 331 (4) : 255-261.
- **Parida AK, DasAB. 2005.** Salt tolerance and salinity effects on plants. Ecotoxicology and environmental safety. 60 (3), 324-349.
- **Par-Smith, G.A., 1982.** Biogeography and evaluation of the shrubby Australian species of *Atriplex*. In: W. R. Barker and P. J. Greensdale (Eds.) Evolution of the Flora and Fauna of Arid Australia. Peacock, Freville, S. Australia, 221-299.
- **Pawlak-Sprada S, Stobiecki M, Deckert J. 2011.** Activation of phenylpropanoid pathway in legume plants exposed to heavy metals. Part II. Profiling of isoflavonoids and their glycoconjugates induced in roots of lupine (*Lupinus luteus*) seedlings treated with cadmium and lead. Acta Biochimica Polonica. 58,21723.
- **Pei Y.Q. (1983).** A review of pharmacology and clinical use of piperine and its derivatives, Epilepsia, 24,177-182.
- **Pereira B, Sonnet P. 2007.** La contamination diffuse des sols par les éléments Traces métalliques en région wallonne. Rapport analytique de Wallonie.

- **Picot A., 2003.** Intoxication de l'organisme par les métaux lourds et autres toxiques le mercure, le plomb et le cadmium trois métaux traces toxiques conférence ADNO 2003 directeur Honoraire CNRS, Gif/Yvette, Paris, 213.
- **Piotto Daniel., Florencia Montagnini., Luis Ugalde., Markku Kanninen.** Growth and effects of thinning of mixed and pure plantations with native trees in humid tropical Costa Rica ,Forest Ecology and Management Volume 177, Issues 1–3, 7 April 2003, Pages 427-439
- **Piotto, B., Bartolini, G., Bussotti, F., García, A.A.C., Chessa, I., Ciccacese, C., Ciccacese, L., Crosti, R., Cullum, F.J., Noi, A.D., García-Fayos, P., Lambardi, M., Lisci, M., Lucci, S., Melini, M. Reinoso, J.C.M., Murrancia, S., Nieddu, G., Pacini, E., Pagni, G., Patumi, M., García, F.P., Piccini, C., Rossetto, M., Tranne, G. and Tylkowski, T., 2003.** Fact sheets on the propagation of Mediterranean trees and shrubs from seed. Seed propagation of Mediterranean trees and shrubs. APAT-Agency for the protection of the environment and for technical services Via Vitaliano Brancati, 48-00144. Roma - Italy. April 2003.
- **Pitt, J., 2004.** Current distribution and strategic management options for *Cenchrus ciliaris* (Buffel grass) in South Australia. Plant Protection Quarterly, Vol. 19 (2): 415-421.
- **Pouget M. 1980.** Les relations sol-végétation dans les steppes sud- Algéroises, Travaux et documents or Stom, Paris, 555 p.

Q

- **Quezel, P. et S. Santa. 1962-1963.** Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Tome I et Tome II. CNRS, Paris.
- **Quezel, P. et Santa, S., 1962.** Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. C.N.R.S. Paris, Vol. 2: 1170-1174.
- **Quezel, P., et Santana, S., 1962.** Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionale. (Ed) CNRS. Paris. P: 286-290.

R

- **Rahmoune, C. ; Seridi, R. ; Paul, R.; Dreze, P.** Laboratoire d'Ecotoxicologie, ISN, Constantine University, Algeria, Dirasat. Agricultural Sciences 2000 Vol.27 No.1 pp.72-77 ref.24
- **Rahmoune, C., Maâlem, S. et Bennaceur, M., 2000.** Etude comparative de rendement en matière sèche et en matière azotée totale de trois espèces de plantes steppiques du genre *Atriplex*, 219-221.

- **Raskin I. 1996.** Plant genetic engineering may help with environmental clean-up. Proceedings of the National Academy of Sciences. 93, 3164-3166.
- **Rastgoo Leila, Alemzadeh, Abbas. 2011.** Biochemical Responses of Gouan (*Aeluropus Littoralis*) to Heavy Metals Stress. Australian Journal of Crop Science.5 (4), 375-383.
- **Rathinasabapathi B, Sigua C, Ho I, Gage DA. 2000.** Osmoprotectant B-Alanine betaine synthesis in the *Plumbaginaceae*: Sadenosyl Lmethionine depend N-Methylation of B-alanine to itsbetaineis via N-methyl and N, N-diemethyl B-alanines. Physiologia Plantarum.109, 225-231.
- **Raymond R. L., Hudson J.O., Jamison V.W., 1976.** Oil degradation in soil. Appl. Environ. Microbiol. Vol.31. pp : 522-535.
- **Redondo-Gómez S, Mateos-Naranjo E, Andrades-Moreno L. 2010.** Accumulation and tolerance characteristics of cadmium in a halophytic Cd-hyperaccumulator, *Arthrocnemum macrostachyum*. Journal of Hazardous Materials.184, 299–307.
- **Rezazadeh, A., Ghasemzadeh, A., Brani, M. et Telmadarrehei, T., 2012.** Effect of salinity on phenolic composition and antioxidant activity of Artichoke (*Cynara scolymus L.*) leaves. Research Journal of Medicinal Plant, Vol. 6: 245-252.
- **Robinson BH, Leblanc M, Petit D. 1998.** The potential of *Thlaspi caerulescens* for phytoremediation of contaminated soils. Plant Soil. 203(1), 47-56.
- **Robinson BH, Chiarucci A, Brooks RR, Petit D, Kirkman JH, Gregg PEH, De Dominicis V. 1997.** The nickel hyperaccumulator plant *Alyssum bertolonii* as a potentiel agent for phytoremediation and phytominig of nickel. Journal of Geochemical Exploration. 59, 75-
- **Rosas, M.R., 1989.** El genero *Atriplex* (Chenopodiaceae) en Chile. Gayana Bot., Vol. 46 (1-2): 3-82
- **Ross, S.M. 1995.** Toxic metals in soil plant–systems. Wiley, Chichester, Royaume-Uni.
- **Ross, S.M. 1994.** Toxic metals in soil-plant systems. John Wiley and Sons Ltd, Chichester, UK.
- **Rouquerol T., Amir H., Amir A. 1987.** Effet de l'épandage de résidu pétrolier de raffinerie sur l'évolution de la matière organique. L'activité microbienne d'un sol agricole, Revue d'écologie du sol. 156p.
- **Ryals J., K.A. Lawlon, T.P. Delaney, L. Friedrish, H. Kessmann, U. Neuenschwander, S. Ukness, B. Vernooij Benhammou N, Atik Bekkara F, Tatjana**

KP 2009. Antioxidant activity of methanolic extracts and some bioactive compounds of *Atriplex halimus*. Comptes Rendus Chimie 12 : 1259-1266

- **Ryals J., S. Uknes and E. Ward, 1994.** Systemic acquired resistance. Plant Physiol., 104, 1109-1112.

S

- **Schafer P., S.H. Wender and E.G. Smith, 1971.** Effect of scopoletin on two anodic isoperoxidases isolated from tobacco tissue culture W-38. Plant Physiol., 48, 232-233.
- **Schafer W., 1994.** Molecular mechanisms of fungal pathogenicity to plants. Ann. Rev. Phytopathol., 32, 461-477.
- **Schwartz C, Sirguy C, Peronny S, Reeves RD, Bourgaud F, Morel JL. 2006.** Testing of outstanding individuals of *Thlaspi caerulescens* for cadmium phytoextraction; International Journal of Phytoremediation.8, 339-357.
- **Sgherri C, Quartacci MF, Navari-Izzo F. 2007.** Early production of activated oxygen Species in root apoplast of wheat following copper excess. Journal of Plant Physiology.164 (9), 1152-1160.
- **Shain L. and J.B. Miller, 1982.** Pinocembrin: an antifungal compound secreted by leaf glands of eastern cottonwood. Phytopathology, 72, 877-880.
- **Smith D.A., 1982.** Toxicity of phytoalexins. In: Phytoalexins.
- **Smith D.A., J.M. Harrer and T.E. Cleveland, 1982.** Relation between production of kievitone hydratase by isolates of *Fusarium* and their pathogenicity on *Phaseolus vulgaris*. Phytopathology, 19, 1673-1675.
- **Souahi H, Gharbi A, Gassarellil Z (2017).** Growth and physiological responses of cereals species under lead stress. International Journal of Biosciences 11(1): 266-273.
- **Souahi H, Gassarellil Z, Gharbi A, Meksem Amara L (2021).** Comparative growth of cereal species under lead stress. In: Ksibi M. et al. (Eds) Recent Advances in Environmental Science from the Euro-Mediterranean and Surrounding Regions (2nd Edition). EMCEI 2019. Environmental Science and Engineering. Springer, Cham.
- **Souahi H, Chebout A, Akrou K, Massaoud N, Gacem R (2021).** Physiological responses to lead exposure in wheat, barley and oat. Environmental challenge 4: 100079.
- **Souahi H (2021).** Impact of lead on the amount of chlorophyll and carotenoids in the leaves of *Triticum durum* and *T. aestivum*, *Hordeum vulgare* and *Avena sativa*. Biosystems Diversity 29(3): 207-210.

- **Suelee AL, Hasan Snms, Kusin FM, Yusuff FM, Ibrahim ZZ (2017).** Phytoremediation potential of vetiver grass (*Vetiveria zizanioides*) for treatment of metal-contaminated water. *Water, Air, and Soil Pollution* 228(4): 158.
- **Souayah, N., Khouja, M.L., Rejeb, M.N. et Bouzid, S. (1998).** Micropropagation d'un arbuste sylvo-pastoral, *Atriplex halimus L.* (Chénopodiacées) pp. 131-135.
- **Sposito G. (1989.)** The chemistry of soils. Oxford Univ Press, 277 p.
- **Stachel S.E., E.W. Nester and P.C. Zambryski, 1986.** A plant cell factor induces *Agrobacterium tumefaciens* vir gene expression. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 83, 379-383.
- **Stohs, S.J. and Bagchi, D., 1995.** Oxidative mechanism in the toxicity of metal ions [J]. *Free Radical Biology and Medicine*, Vol. 18: 321–326.
- **Stutz H.C., 1989.** Evolution of *shrubs*. In: Mckeli C.M. (Eds), the "Biology and Utilization of Shrubs." Academic Press, San Diego, 323-340.
- **Sutherzan S. 2001.** Natural and Enhanced Remediation Systems. CRC Press, 6 août 2001 p440.
- **Sztejnberg A., H. Azaiza et N. Lisker, 1989.** Effect of tannins and phenolic extracts from plant roots on the production of cellulase and polygalacturonase by *dermatophora necatrix*. *Phytoparasitica*, 17, 49-53.

T

- **Tal B. and D.J. Robeson, 1986.** The metabolism of sunflower phytoalexins ayapin and scopoletin. *Plant-fungus interactions. Plant Physiol.*, 82, 167-172.
- **Talamali A., Bajji M., LeThomas A., Kinet j.M., Dutuit P. (2003).** Flower architecture and sex determination: how does *Atriplex halimus* play with floral morphogenesis and sex genes? *New Phytol*, 157, 105-113.
- **Talamali A., Dutuit P., Le Thomas A., Gorenflot R., 2001.** Polygamie chez *Atriplex halimus L.* (Chenopodiaceae). *CR. Acad. Sei. Paris, Sciences de la Vie*, 324:107-113.
- **Tausz, M., Sircelj, H. et Grill, D., 2004.** The glutathione system as a stress marker in plant ecophysiology: is a stress-response concept valid? *Journal of Experimental Botany*, Vol. 55: 1955-1962.
- **Trachootham D., Alexander J., Huang P. (2009).** Targeting cancer cells by ROS-mediated mechanism: a radical therapeutic approach? *Nat. Rev.* 8. 579–591.

U

- **Ungar Irwin, A and Ajmal Khan, M., 2001.** Effect of Bracteoles on Seed Germination and Dispersal of two Species of *Atriplex*. *Annals of Botany*, Vol. 87: 233-239.

- **Usman, A.R.A., Kuzyakov, Y., Stahr, K. 2004a.** Dynamics of organic C mineralization and the mobile fraction of heavy metals in a calcareous soil incubated with organic wastes. *Water, Air, and Soil Pollution*, 158(1), 401- 418.

V

- **Valko, M., Rhodes, C.J., Moncol, J., Izakovic, M. et Mazur, M., 2006.** Free radicals, metals and antioxidants in oxidative stress-induced cancer. *Chem. Biol Interact.*, Vol. 160 : 140.
- **Vander Perk, M. (2006).** Soil and Water Contamination, from molecular to catchment scale.
- **Vanobberghen F. 2010.** La phytoremédiation en Wallonie : Evaluation du potentiel d'assainissement des sols contaminés en métaux lourds. Bruxelles : ULB, p 91.
- **Virgili F, Marino M. 2008.** Regulation of cellular signals from nutritional molecules: a specific role for phytochemicals, beyond antioxidant activity. *Free Radical Biology and medicine*. 1,1205-1216.

W

- **Wainwright, S.J., 1980.** Plants in relation to salinity. *Adv Bo Res.*, Vol. 8: 221-222.
- **Walker J.C. and M.A. Stahmann, 1955.** Chemical nature of disease resistance in plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 6, 351-366.
- **Walworth J., Braddock J., Woolard, 2001.** Nutrient and temperature interactions in bioremediation of cryic soil. *Cold Region Science and Technology* .vol. 32. pp : 85-91.
- **Wenzel WW, Bunkowski M, Puschenreiter M, Horak O. 2003.** Rhizosphere characteristics of indigenously growing nickel hyperaccumulator and excluder plants on serpentine soil environmental pollution. 123,131-138.

Y

- **Yalpani N., V. Shulaev et I. Raskin, 1993.** Endogenous salicylic acid levels correlate with accumulation of pathogenesis-related proteins and virus resistance in tobacco. *Phytopathology*, 83, 702-708.
- **Yuli Yantoa D.H., Hidayatb A., Tachibanac S. 2017.** Biostimulation périodique avec addition d'éléments nutritifs et bioaugmentation à l'aide de cultures mixtes de champignons pour maintenir l'oxydation enzymatique pendant la bioremédiation prolongée des microcosmes du sol huileux. *Biodégradation et biodégradation internationales*. Vol .116.pp:112-123.

- **Zacchini M, Rea E, Tullio M, de Agazio M. 2003.** Increased antioxidative capacity in *maize calli* during and after oxidative stress induced by long lead treatment. *Plant Physiology and Biochemistry*.41, 49-54.
- **Ziani P. (1970).** *Atriplex halimus*, exploitation des formations naturelles et des plantations, Note tech. N°10, INrF, Tunis, 24 p.
- **Zid, E., Grignon, C., (1991).** Les tests de sélection précoce pour la résistance des plantes aux stress. Cas des stress salin et hydrique. L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides, AUPELF-UREF. Jon Libbey Eurotext, Paris: 91- 108.
- **Zobell C.E., 1969.** Microbial modification of crude oil in the sea. In: Proceedings of joint conferences on prevention and control of oil spills. American. Petroleum. Institute. Washington, D.C., pp: 317-326.
- **Zoofouri, M.S., 1993.** Confruntes du milieu et réponses de quelques espèces exotiques introduites en Tunisie présaharienne. Thèse de doctorot, Sciences, Université Aix-Marseille, 111-200.