

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE

SCIENTIFIQUE

جامعة عبد الحميد بن باديس

UNIVERSITE ABDELHAMID IBN BADIS DE MOSTAGANEM

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Laboratoire de protection des végétaux

Département de Biologie

Filière : Biologie

Option : Biotechnologie Végétale

THESE

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE

DOCTORAT EN SCIENCES

Présentée par

M^{me}. AZZOUZ Fatima

Thème

**Contribution à l'étude de la désalinisation des sols
par culture d'Atriplex**

Soutenu le 01/07/2021

devant le jury composé de

Qualité	Nom et prénom	Grade	Structure
Président	LARID	Professeur	Université de Mostaganem
Examineur	LATRECHE Ali	Professeur	Université de Sidi Bel- Abbas
Examineur	MEHDADI Zoheir	Professeur	Université de Sidi Bel- Abbas
Examineur	BELHADI Abdelkader	Professeur	Université de Saida
Examineur	BOUZOUINA Mohamed	MCA	Université de Mostaganem
Promoteur	LOTMANI Brahim	Professeur	Université de Mostaganem

ANNEE UNIVERSITAIRE : 2020 / 2021

Je dédie ce travail à

Mes parents

Mon mari

Mes filles, Assia, Wissam et Mira

Mes sœurs et mes frères

Ma belle famille

Toutes mes amies

Fatima

REMERCIEMENTS

Mes sincères remerciements vont à mon encadreur Monsieur **LOTMANI Brahim**, Professeur à la Faculté des sciences de la Nature et de la Vie, Université de Mostaganem pour la confiance qu'il m'a accordé durant toutes ces années, pour sa disponibilité pour partager son temps et ses connaissances et pour ses encouragements. Je le remercie du fond du cœur et je le présente ma profonde reconnaissance, mon immense gratitude et mon grand respect.

Ma grande gratitude à Monsieur le Professeur **LARID Mohamed**, de l'université de Mostaganem. Il me fait aujourd'hui l'honneur de présider le jury de ma thèse. Qu'il me soit permis de lui exprimer ma profonde gratitude.

Mes vifs remerciements s'adresse également à Monsieur le Professeur **LATRECHE Ali**, de l'Université de Sidi Bel- Abbes de m'avoir fait l'honneur d'accepter d'examiner mon travail.

Je remercie également Monsieur **MEHDADI Zoheir**, Professeur à l'université de Sidi Bel- Abbes pour avoir accepté de juger ma thèse.

Je tiens à exprimer mes sincères reconnaissances envers Monsieur le Professeur **BELHADI Abdelkader**, de l'Université de Saida d'avoir accepté de juger mon travail.

Il m'est aussi agréable de témoigner ma grande gratitude à Monsieur **BOUZOUINA Mohamed**, Maître de Conférence A à l'Université de Mostaganem, pour son aide et pour avoir accepté d'examiner mon travail.

Ma plus sincère reconnaissance à tous les personnes du laboratoire de la protection des végétaux à l'Université de Mostaganem.

Mes vifs remerciements s'adressent également à tous le personnel de l'INSID (Institut National Des Sols Irrigations Et Drainage) El-Matmar. Relizane. Pour m'avoir accueilli au sein de leur laboratoire pour la réalisation de mon travail.

Je remercie chaleureusement mes parents pour leurs soutient et encouragement et je présente toute ma gratitude et ma reconnaissance à mon mari **GUENOUNA Mourad** pour son encouragement et son aide précieux pour la réalisation de mon travail.

Je tiens à remercier tous mes amis et surtout M^r **BOUZIANI Hadj** pour son aide.

RESUME

La salinité est une contrainte écologique pour les sols dans le monde. Ce phénomène est considéré comme un facteur abiotique le plus important qui limite la croissance et la productivité des plantes.

Le présent travail a pour objectif de suivre dans une première étape le comportement morpho-physiologique et chimique de la tomate cultivée *Lycopersicum esculentum* Mill en intercalaire avec l'*Atriplex halimus* L. et soumise au stress salin et, dans une deuxième étape l'évaluation de l'effet de l'*Atriplex halimus* L. sur l'évolution de la salinité du sol.

Dans ce cadre, une association en intercalaire entre l'*Atriplex halimus* L. et la tomate *lycopersicum esculentum* Mill est mise en place sur des sols avec cinq niveaux de salinité du sol (non salé, peu salé, salé, très salé et extrêmement salé). Ces sol sont ramenés des sites salés naturellement et ont fait l'objet de plusieurs analyses avant leur utilisation. L'estimation de l'incidence de l'*Atriplex halimus* L. sur le développement des plantes de la tomate et sur les variations de la salinité des sols cultivés est mesurée par l'ensemble des paramètres d'ordre morphologiques, physiologiques, chimiques et enzymatiques.

La présence de l'*Atriplex halimus* L offre un effet améliorateur sur la nutrition minérale des plantes de la tomate avec lesquelles elle est associée. En effet, une diminution des teneurs en Na^+ et augmentation des teneurs en K^+ a été enregistrée dans les parties aériennes de ces plantes par rapport à ceux cultivées seules.

Le pouvoir de l'*Atriplex halimus* L. à déssaliniser les sols salés a été évalué par l'étude de l'évolution de la conductivité électrique (CEs) et des teneurs en Na^+ des sols avant et après l'installation des cultures. Nos résultats révèlent une régression remarquable de la C.E. et Na^+ des solutions des sols cultivés par l'*Atriplex halimus* L. par rapport aux sols non cultivés et même ceux cultivés seulement par la tomate.

Mots clés : *Atriplex halimus*, culture intercalaire, *Lycopersicum esculentum*, salinité, sol, conductivité électrique.

ABSTRACT

Salinity is an ecological constraint for soils in the world; this phenomenon is considered the most important abiotic factor, which limits the growth and productivity of plants.

The objective of this work is to follow in a first step the morpho-physiological and chemical behavior of the tomato cultivated *Lycopersicum esculentum* as an intercropped of *Atriplex halimus* L. and subjected to salt stress and, in a second step the evaluation of the effect of *Atriplex halimus* L. on the evolution of soil salinity.

In this context, an interlayer association between *Atriplex halimus* L. and *Lycopersicum esculentum* Mill is set up on soils with different levels of salinity (unsalted soil, little salty soil, salty soil, very salty soil and extremely salty soil). These soils are brought back from salty sites naturally and have undergone several analyzes before use. The estimate of the incidence of *Atriplex halimus* L. on the development of tomato plants and on variations in the salinity of cultivated soils is measured by all the morphological, physiological, chemical and enzymatic parameters.

The presence of *Atriplex halimus* L offers an improving effect on the mineral nutrition of the tomato plants with which it is associated, in fact, a decrease in the Na^+ contents and an increase in the K^+ contents was recorded in the aerial parts of these plants compared to those cultivated alone.

The power of *Atriplex halimus* L. to desalinate salty soils was evaluated by studying the evolution of electrical conductivity (ECs) and Na^+ contents of soils before and after planting crops. Our results reveal a remarkable regression of EC and Na^+ of the solutions of soils cultivated by *Atriplex halimus* L. compared to non-cultivated soils and even those cultivated only by tomato.

Key words: *Atriplex halimus*, intercropping, *Lycopersicum esculentum*, salinity, soils, electrical conductivity.

تعد الملوحة عائق بيئي للتربة في العالم، و تعتبر هذه الظاهرة من أهم العوامل الغير حيوية التي تحد من إنتاجية النبات.

يهدف هذا العمل من جهة إلى متابعة السلوك المرفولوجي ، الفيزيولوجي و الكيميائي لنبات الطماطم (*Lycopersicum esculentum*) المزروع بطريقة بينية مع نبات القطف (*Atriplex halimus*) في ظروف ملحة ومن جهة أخرى، يهدف إلى تقييم أثر وجود نبات القطف على تغيرات درجة ملوحة التربة. في هذا السياق قمنا بزراعة بينية بين نبات الطماطم و نبات القطف على تربة ذات مستويات مختلفة من الملوحة (تربة غير مالحة، تربة قليلة الملوحة، تربة مالحة، تربة شديدة الملوحة، و تربة مالحة للغاية). قمنا بجلب هذه التربة من مواقع مالحة طبيعيا.

تقييم تأثير نبات القطف على نمو نبات الطماطم و على تغيرات ملوحة التربة المزروعة يتم قياسها من خلال دراسة المتغيرات المرفولوجية، الفيزيولوجية و الكيميائية.

يحسن وجود نبات القطف التغذية المعدنية لنباتات الطماطم المزروعة معها، حيث تم تسجيل انخفاض في محتوى الصوديوم و زيادة في محتوى البوتاسيوم في الأجزاء الهوائية لهذه النباتات مقارنة بتلك المزروعة وحدها.

تم تقييم قدرة نبات القطف على تحلية التربة المالحة من خلال دراسة تطور الموصلية الكهربائية (CE) و محتويات التربة من الصوديوم قبل و بعد زراعة المحاصيل.

لقد كشفت النتائج المتحصل عليها عن تراجع ملحوظ في مستويات الموصلية الكهربائية (CE) و كمية الصوديوم لعينات التربة المزروعة بنبات القطف مقارنة بالتربة الغير مزروعة و حتى تلك المزروعة بنبات الطماطم فقط.

الكلمات المفتاحية: نبات القطف، الزراعة البينية، نبات الطماطم، الملوحة، التربة، الموصلية الكهربائية.

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Synthèse des principaux mécanismes cellulaires de perception, signalisation et réponse au stress salin (NaCl) chez la plante (Hanana et al., 2011).....	11
Figure 2. Protocole d'extraction des phénols totaux et des flavonoïdes (El Hadrami et al., 1997).....	37
Figure 3. Protocole de dosage des phénols totaux (El Hadrami et al., 1997).....	38
Figure 4. Protocole de dosage des flavonoïdes (El Hadrami et al., 1997).....	39
Figure 5. Préparation de la pâte saturée.....	41
Figure 6. Extraction des sels par Centrifugation et Filtration (Extrait saturé).....	41
Figure 7. Mesure de la CE de l'extrait obtenu.....	41
Figure 8. Extraction et dosage de la matière organique.....	42
Figure 9. Effet de la salinité du sol sur la longueur de tige des plantes de la tomate cultivées en intercalaire de l' <i>Atriplex halimus</i> L.....	44
Figure 10. Effet de la salinité du sol sur le nombre des feuilles des plantes de la tomate cultivées en intercalaire de l' <i>Atriplex halimus</i> L.....	45
Figure 11. Effet de la salinité du sol sur la surface foliaire des plantes de la tomate cultivées en intercalaire de l' <i>Atriplex halimus</i> L.....	46
Figure 12. Effet de la salinité du sol sur le nombre des fruits des plantes de la tomate cultivées en intercalaire de l' <i>Atriplex halimus</i> L.....	47
Figure 13. Effet de la salinité du sol sur la teneur relative en eau des plantes de la tomate cultivées en intercalaire de l' <i>Atriplex halimus</i> L.....	48
Figure 14. Effet de la salinité du sol sur la teneur en chlorophylle a des plantes de la tomate cultivées en intercalaire de l' <i>Atriplex halimus</i> L.....	50
Figure 15. Effet de la salinité du sol sur la teneur en chlorophylle b des plantes de la tomate cultivées en intercalaire de l' <i>Atriplex halimus</i> L.....	50
Figure 16. Effet de la salinité du sol sur la teneur en chlorophylle a+b des plantes de la tomate cultivées en intercalaire de l' <i>Atriplex halimus</i> L.....	50
Figure 17. Effet de la salinité du sol sur la teneur en proline des parties souterraines des plantes de la tomate cultivées en intercalaire de l' <i>Atriplex halimus</i> L.....	52
Figure 18. Effet de la salinité du sol sur la teneur en proline des parties aériennes des plantes de la tomate cultivées en intercalaire de l' <i>Atriplex halimus</i> L.....	53
Figure 19. Effet de la salinité du sol sur la teneur en sucres solubles des parties souterraines des plantes de la tomate cultivées en intercalaire de l' <i>Atriplex halimus</i> L.....	54
Figure 20. Effet de la salinité du sol sur la teneur en sucres solubles des parties aériennes des plantes de la tomate cultivées en intercalaire de l' <i>Atriplex halimus</i> L.....	55

Figure 21. Effet de la salinité du sol sur la teneur en sodium racinaire des plantes de la tomate cultivées en intercalaire de l' <i>Atriplex halimus</i> L.....	57
Figure 22. Effet de la salinité du sol sur la teneur en sodium aérien des plantes de la tomate cultivées en intercalaire de l' <i>Atriplex halimus</i> L.....	58
Figure 23. Effet de la salinité du sol sur le Ratio Na ⁺ P.A. /P.R. des plantes de la tomate cultivées en intercalaire de l' <i>Atriplex halimus</i> L.....	58
Figure 24. Effet de la salinité du sol sur la teneur en potassium racinaire des plantes de la tomate cultivées en intercalaire de l' <i>Atriplex halimus</i> L.....	60
Figure 25. Effet de la salinité du sol sur la teneur en potassium aérien des plantes de la tomate cultivées en intercalaire de l' <i>Atriplex halimus</i> L.....	61
Figure 26. Effet de la salinité du sol sur la teneur en calcium racinaire des plantes de la tomate cultivées en intercalaire de l' <i>Atriplex halimus</i> L.....	62
Figure 27. Effet de la salinité du sol sur la teneur en calcium aérien des plantes de la tomate cultivées en intercalaire de l' <i>Atriplex halimus</i> L.....	63
Figure 28. Effet de la salinité du sol sur la teneur en peroxydase des parties racinaires des plantes de la tomate cultivées en intercalaire de l' <i>Atriplex halimus</i> L.....	65
Figure 29. Effet de la salinité du sol sur la teneur en peroxydase des parties aériennes des plantes de la tomate cultivées en intercalaire de l' <i>Atriplex halimus</i> L.....	66
Figure 30. Effet de la salinité du sol sur la teneur en catalase des parties racinaires des plantes de la tomate cultivées en intercalaire de l' <i>Atriplex halimus</i> L.....	67
Figure 31. Effet de la salinité du sol sur la teneur en catalase des parties aériennes des plantes de la tomate cultivées en intercalaire de l' <i>Atriplex halimus</i> L.....	68
Figure 32. Effet de la salinité du sol sur la teneur en flavonoïdes des plantes de la tomate cultivées en intercalaire de l' <i>Atriplex halimus</i> L.....	69
Figure 33. Effet de la salinité du sol sur la teneur en phénol totaux des plantes de la tomate cultivées en intercalaire de l' <i>Atriplex halimus</i> L.....	71
Figure 34. Effet de la salinité du sol sur la longueur des tiges des plantes de l' <i>Atriplex halimus</i> L.. ..	72
Figure 35. Effet de la salinité du sol sur le nombre des feuilles des plantes de l' <i>Atriplex halimus</i> L.....	73
Figure 36. Effet de la salinité du sol sur la surface foliaire des plantes de l' <i>Atriplex halimus</i> L.....	74
Figure 37. Effet de la salinité du sol sur la teneur relative en eau des plantes de l' <i>Atriplex halimus</i> L.	75
Figure 38. Effet de la salinité du sol sur la teneur en chlorophylle a, chlorophylle b et chlorophylle a+b des plantes de l' <i>Atriplex halimus</i> L.....	76

Figure 39. Effet de la salinité du sol sur la teneur en proline des plantes de l' <i>Atriplex halimus</i> L.....	78
Figure 40. Effet de la salinité du sol sur la teneur en sucres solubles des plantes de l' <i>Atriplex halimus</i> L.....	79
Figure 41. Effet de la salinité du sol sur la teneur en sodium des plantes de l' <i>Atriplex halimus</i> L.....	80
Figure 42. Effet de la salinité du sol sur la teneur en potassium des plantes de l' <i>Atriplex halimus</i> L.....	81
Figure 43. Effet de la salinité du sol sur la teneur en calcium des plantes de l' <i>Atriplex halimus</i> L.....	82
Figure 44. Effet de la salinité du sol sur la teneur en peroxydase des plantes de l' <i>Atriplex halimus</i> L.....	83
Figure 45. Effet de la salinité du sol sur la teneur en catalase des plantes de l' <i>Atriplex halimus</i> L.....	84
Figure 46. Effet de la salinité du sol sur la teneur en flavonoïdes des plantes de l' <i>Atriplex halimus</i> L.....	85
Figure 47. Effet de la salinité du sol sur la teneur en phénol totaux des plantes de l' <i>Atriplex halimus</i> L.....	86
Figure 48. Évolution de la conductivité électrique de la solution du sol (CEs) de l'extrait aqueux en fonction de type de culture installée.....	87
Figure 49. Évolution du pH de la solution du sol en fonction de type de la culture installée.....	88
Figure 50. Évolution de la matière organique des sols en fonction de type de la culture installée.....	88
Figure 51. Évolution de la concentration en sodium de la solution du sol (meq/l) de l'extrait aqueux en fonction de type de culture installée.....	89
Figure 52. Évolution de la concentration en potassium de la solution du sol (meq/l) de l'extrait aqueux en fonction de type de culture installée.....	90

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Températures requises pour les différentes phases de développement d'un pied de tomate (Shankara et al., 2005).....	24
Tableau 2 : maladies et ravageurs de la tomate, les symptômes et les méthodes de lutte (Aglinglo et al., 2018).....	26
Tableau 3: niveaux de salinité des différents types de sol utilisés.....	33
Tableau 4: Effet de la salinité et de l' <i>A. halimus</i> sur la longueur des tiges des plantes de la tomate.....	43
Tableau 5: Effet de la salinité et de l' <i>A. halimus</i> sur le nombre des feuilles par plante de la tomate.....	45
Tableau 6: Effet de la salinité et de l' <i>A. halimus</i> sur la surface foliaire des plantes de la tomate.....	46
Tableau 7: Effet de la salinité et de l' <i>A. halimus</i> sur le nombre des fruits des plantes de la tomate.....	47
Tableau 8 : Analyse ANOVA des paramètres biométriques.....	47
Tableau 9: Effet de la salinité et de l' <i>A. halimus</i> sur la teneur relative en eau des plantes de la tomate.....	48
Tableau 10: Effet de la salinité et de l' <i>A. halimus</i> sur la teneur en chlorophylle des plantes de la tomate.....	49
Tableau 11: Effet de la salinité et de l' <i>A. halimus</i> sur la teneur en proline des parties racinaires des plantes de la tomate.....	51
Tableau 12: Effet de la salinité et de l' <i>A. halimus</i> sur la teneur en proline des parties aériennes des plantes de la tomate.....	52
Tableau 13: Effet de la salinité et de l' <i>A. halimus</i> sur la teneur en sucres des parties racinaires des plantes de la tomate.....	54
Tableau 14: Effet de la salinité et de l' <i>A. halimus</i> sur la teneur en sucres des parties aériennes des plantes de la tomate.....	55
Tableau 15 : Analyses ANOVA des paramètres physiologiques.....	56
Tableau 16: Effet de la salinité et de l' <i>A. halimus</i> sur la teneur en sodium des parties racinaires des plantes de la tomate.....	56
Tableau 17: Effet de la salinité et de l' <i>A. halimus</i> sur la teneur en sodium des parties aériennes des plantes de la tomate.....	58
Tableau 18: Effet de la salinité et de l' <i>A. halimus</i> sur la teneur en potassium des parties racinaires des plantes de la tomate.....	59

Tableau 19: Effet de la salinité et de l' <i>A. halimus</i> sur la teneur en potassium des parties aériennes des plantes de la tomate.....	61
Tableau 20: Effet de la salinité et de l' <i>A. halimus</i> sur la teneur en calcium des parties racinaires des plantes de la tomate.....	62
Tableau 21: Effet de la salinité et de l' <i>A. halimus</i> sur la teneur en calcium des parties aériennes des plantes de la tomate.....	63
Tableau 22 : Analyses ANOVA des paramètres chimiques.....	63
Tableau 23: Effet de la salinité et de l' <i>A. halimus</i> sur la teneur en peroxydase des parties racinaires des plantes de la tomate.....	64
Tableau 24: Effet de la salinité et de l' <i>A. halimus</i> sur la teneur en peroxydase des parties aériennes des plantes de la tomate.....	66
Tableau 25: Effet de la salinité et de l' <i>A. halimus</i> sur la teneur en catalase des parties racinaires des plantes de la tomate.....	67
Tableau 26: Effet de la salinité et de l' <i>A. halimus</i> sur la teneur en catalase des parties aériennes des plantes de la tomate.....	68
Tableau 27: Effet de la salinité et de l' <i>A. halimus</i> sur la teneur en flavonoïdes des plantes de la tomate.....	69
Tableau 28: Effet de la salinité et de l' <i>A. halimus</i> sur la teneur en phénols totaux des plantes de la tomate.....	70
Tableau 29 : Analyses ANOVA des paramètres du système antioxydant.....	70
Tableau 30: Effet de la salinité sur la longueur de la tige des plantes de l' <i>A. halimus</i>	72
Tableau 31: Effet de la salinité sur le nombre des feuilles des plantes de l' <i>A. halimus</i>	73
Tableau 32: Effet de la salinité sur la Surface foliaire des plantes de l' <i>A. halimus</i>	74
Tableau 33 : Analyses ANOVA des paramètres biométriques.....	74
Tableau 34: Effet de la salinité sur la teneur relative en eau des plantes de l' <i>A. halimus</i>	75
Tableau 35: Effet de la salinité sur la teneur en chlorophylle des plantes de l' <i>A. halimus</i>	76
Tableau 36: Effet de la salinité sur la teneur en proline des plantes de l' <i>A. halimus</i>	77
Tableau 37: Effet de la salinité sur la teneur en sucres des plantes de l' <i>A. halimus</i>	78
Tableau 38 : Analyses ANOVA des paramètres physiologiques.....	79
Tableau 39: Effet de la salinité sur la teneur en sodium des plantes de l' <i>A. halimus</i>	80
Tableau 40: Effet de la salinité sur la teneur en potassium des plantes de l' <i>A. halimus</i>	81
Tableau 41: Effet de la salinité sur la teneur en calcium des plantes de l' <i>A. halimus</i>	82

Tableau 42 : Analyses ANOVA des paramètres chimiques.....	82
Tableau 43: Effet de la salinité sur la teneur en peroxydase des plantes de l'<i>A. halimus</i>.....	83
Tableau 44: Effet de la salinité sur la teneur en catalase des plantes de l'<i>A. halimus</i>.....	84
Tableau 45: Effet de la salinité sur la teneur en flavonoïdes des plantes de l'<i>A. halimus</i>....	85
Tableau 46: Effet de la salinité sur la teneur en phénols totaux des plantes de l'<i>A. halimus</i>.....	86
Tableau 47 : Analyses ANOVA des paramètres du système antioxydant.....	86

LISTE DES ABREVIATIONS

% : pourcentage

°C : degré Celsius

µg : microgramme

A: Atriplex

Ca²⁺: calcium

CAT: catalase.

CE : conductivité électrique

CEd : conductivité électrique de l'extrait dilué

CEps : conductivité électrique de la pâte saturée

CEs : conductivité électrique de la solution du sol

Chl : chlorophylle

Cm : centimètre

Dsm : deci-Simens

Dsm/m : deci-Simens par mètre.

F1 : facteur salinité

F2 : facteur Atriplex

g : gramme

K⁺ : potassium

L: litre

M : mètre

Max : maximum

Meq : milliequivalent

MF : matière fraîche

Mg : milligramme

Min : minimum

ml : millilitre

mn : minute

MO : matière organique

MS : matière sèche

Na⁺ : sodium

Nbr : nombre

nm : nanomètre

Ns : non significatif

P : probabilité.

PA : partie aérienne

pH : potentiel hydrogène

POD : peroxydase.

PR : partie racinaire.

T : tomate

T+A : tomate + *Atriplex halimus*

TFC : Composés Flavonoïdes Totaux.

TPC : Composés Phénoliques Totaux.

TRE : teneur relative en eau

TABLE DES MATIERES

Dédicaces	
Remerciements	
Résumé	
Abstract	
ملخص	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I – SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE	
I.Salinité.....	4
1. Causes de la salinité.....	4
2. Effet de salinité sur les plantes.....	5
2.1. Effet de la salinité sur la germination.....	5
2.2. Effet de la salinité sur la croissance et la morphologie de la plante.....	6
2.3.Effet de la salinité sur la nutrition minérale des plantes.....	7
2.4. Effet de la salinité sur la photosynthèse.....	7
2.5. Effet de la salinité sur la disponibilité de l'eau.....	8
3. Mécanismes de tolérance des plantes à la salinité.....	9
3.1. Homéostasie ionique.....	10
3.2. Ajustement osmotique	12
3.3. Système antioxydant.....	14
3.4. Adaptation morphologique.....	15
II. Présentation des espèces expérimentées.....	16
1. <i>Atriplex halimus</i>	16
1.1. Intérêts des plantes halophytes.....	16
1.2. <i>Atriplex halimus</i>	17
1.2.1. Systématique et description de l' <i>Atriplex halimus</i> L.....	18
1.2.2. Répartition.....	18
1.2.3. Comportement de l' <i>Atriplex halimus</i> face à la salinité	19
1.2.4. Intérêts de l' <i>Atriplex halimus</i> L.....	20

2. Tomate (<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.).....	21
2.1. Systématique et description botaniques de la tomate.....	22
2.1.1. Systématique.....	22
2.1.2. Description botanique.....	22
2.2. Exigences écologiques	24
2.2.1. Température et lumière.....	24
2.2.2. Eau.....	24
2.2.3. Humidité	25
2.2.4. Sol.....	25
2.3. Importance de la tomate.....	25
2.3.1. Importance économique.....	25
2.3.2. Valeur alimentaire.....	26
2.4. Maladies et ravageurs.....	26
2.5. Tomate face à la salinité.....	28
2.6. Atténuation des effets dépressifs du sel sur la tomate.....	29
2.7. Culture intercalaire.....	30

CHAPITRE II - MATERIEL ET METHODES

1. Matériel végétal.....	32
2. Préparation de substrat de culture	32
3. Conditions de culture.....	33
4. paramètres mesurés sur les plantes.....	33
4.1. Paramètres biométriques.....	33
4.1.1. Longueur de la partie aérienne (LPA).....	33
4.1.2. Surface foliaire.....	34
4.1.3. Calcul du nombre des feuilles.....	34
4.1.4. Calcul du nombre des fruits.....	34
4.2. Paramètres physiologiques.....	34
4.2.1. Teneur relative en eau.....	34
4.2.2. Dosage de la Chlorophylle.....	34
4.2.3. Dosage de la proline.....	35
4.2.4. Dosage des sucres solubles.....	35
4.3. Paramètres chimiques.....	36
4.3.1. Dosage du sodium, du potassium et du calcium.....	36

4.4. Paramètres du système antioxydant.....	37
4.4.1. Dosage des phénols totaux et des flavonoïdes.....	37
4.4.2. Dosage des enzymes antioxydants.....	40
5. paramètres étudiés sur le sol.....	40
6. Analyses statistiques.....	42

CHAPITRE III – RESULTATS ET DISCUSSION

RESULTATS.....	43
I. Effet de la salinité sur la tomate.....	43
1. Paramètres biométriques.....	43
1.1. Longueur de la tige.....	43
1.2. Nombre des feuilles par plante.....	44
1.3. Surface foliaire.....	45
1.4. Nombre des fruits par plante.....	46
2. Paramètres physiologiques.....	48
2.1. Teneur relative en eau.....	48
2.2. Teneur en chlorophylle.....	49
2.3. Teneur en proline	51
2.4. Teneur en sucres solubles.....	53
3. Paramètres chimiques.....	56
3.1. Teneur en sodium.....	56
3.2. Teneur en potassium.....	59
3.3. Teneur en calcium.....	61
4. Paramètres du système antioxydant.....	64
4.1. Teneur en peroxydase.....	64
4.2. Teneur en catalase.....	66
4.3. Teneur en flavonoïdes.....	68
4.4. Teneur en phénols totaux.....	69
II. Effet de la salinité sur l'<i>Atriplex halimus</i> L.....	72
1. Paramètres biométriques.....	72
1.1. Longueur de la tige.....	72
1.2. Nombre des feuilles par plante.....	72
1.3. Surface foliaire.....	73
2. Paramètres physiologiques.....	74

2.1. Teneur relative en eau.....	74
2.1. Teneur en chlorophylle.....	75
2.2. Teneur en proline.....	76
2.3. Teneur en sucres solubles.....	78
3. Paramètres chimiques.....	79
3.1. Teneur en sodium.....	79
3.2. Teneur en potassium.....	80
3.3. Teneur en calcium.....	81
4. Paramètres du système antioxydant.....	83
4.1. Teneur en peroxydase.....	83
4.2. Teneur en catalase.....	84
4.3. Teneur en flavonoïdes.....	85
4.4. Teneur en phénols totaux.....	85
III. Résultats trouvées sur le sol.....	87
1. CE du sol.....	87
2. Ph du sol.....	87
3. Teneur en matière organique du sol.....	88
4. Teneur en sodium du sol.....	88
5. Teneur en potassium du sol.....	89
DISCUSSION DES RESULTATS ET CONCLUSION.....	90
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	113
ANNEXES	

INTRODUCTION

La salinité est une contrainte majeure qui affecte la croissance et le développement des plantes surtout dans les régions arides et semi-arides qui souffrent des problèmes de salinisation des sols (**Bouassaba et Chougui, 2018**). Elle est souvent associée à la sécheresse et elle entraîne une réduction des surfaces cultivables (**Marcum, 2006**). La présence de sels solubles dans un sol à un certain niveau de concentration affecte les mécanismes physiologiques de la plante et limite la production végétale (**Maggio et al., 2004**).

La salinité est un facteur abiotique qui réduit la production agricole (**Atou et al., 2020**). C'est une menace permanente pour la survie des végétaux (**Bouassaba et Chougui, 2018**), elle résulte de fortes évaporations d'eau à partir du sol (**Munns et al., 2006**) et d'une irrégulière et insuffisante pluviométrie (**Mezni et al., 2002**). Ce facteur provient aussi de l'irrigation le plus souvent mal contrôlée (**Bennaceur et al., 2001**).

L'Algérie, dont une grande partie des régions agricoles se caractérise par un climat aride et semi-aride, est touchée par le processus de salinité (**Benmahioul et al., 2009**). En effet, presque 3,2 millions d'hectares de la surface agricole utile sont salins (**Hamdy, 1999**).

La tomate *Solanum lycopersicum* est l'un des fruits les plus consommés au monde et occupe une place importante dans l'alimentation humaine (**Manaa et al., 2014**). Elle est parmi les produits agricoles les plus consommés en Algérie, elle est classée au deuxième rang après la pomme de terre, dont la consommation moyenne annuelle s'élève à 45 kg/personne/an. Les agriculteurs s'intéressent de plus en plus à la culture de tomate à cause de sa grande valeur alimentaire et du revenu intéressant qu'elle assure par unité de surface. Malgré le développement important de cette culture en Algérie, les rendements restent relativement faibles pour diverses raisons (**Boutahraoui et al., 2017**) principalement que cette espèce est souvent exposée à de multiples contraintes de l'environnement (**Benazzouk et al., 2018**).

En Algérie, la salinité des sols ou encore les eaux d'irrigation chargées en sels, représentent un facteur limitant de la production de la tomate, notamment dans les régions semi arides et arides (**Boutahraoui et al., 2017**).

Parmi les actions à entreprendre en vue de valoriser et de développer ces régions, les plantations à base d'essences végétales adaptées, capables de résister à la sécheresse et de tolérer les sels constituent une priorité (**Benmahioul et al., 2009**). De ce fait, ces changements imposent la réflexion sur les stratégies à entreprendre pour comprendre les mécanismes mis en jeu par les plantes afin de s'adapter aux nouvelles conditions de l'environnement et de maintenir leur croissance et leur productivité (**Belkhodja et Bidai, 2004**).

Il est possible de limiter l'ampleur prise par la salinisation des terres et des eaux par l'exploration des écosystèmes salins et l'identification des espèces halophiles à potentialités économique et /ou écologique intéressantes afin d'utiliser ces espèces naturellement tolérantes au sel pour la réhabilitation et la valorisation des sols salés (Belkhodja et Bidai, 2004). Les halophytes, plantes dotées de caractéristiques requises pour tolérer le sel, semblent constituer un outil précieux pour valoriser les zones marginales fortement salées et menacées par la désertification (Abdelly, 2004). En effet, des chercheurs ont suggéré que les halophytes ayant une valeur économique pourraient même être utilisées pour inverser le processus de salinisation et restaurer le sol lorsque les techniques de gestion ne sont pas réalisables (Diatta *et al.*, 2000).

Un domaine prometteur mais pas encore approfondi est représenté par l'utilisation de plantes halophytes en association avec des plantes agricoles dans des conditions de stress salin (Zuccarini, 2008). En raison de leurs qualités de tolérance, les espèces du genre *Atriplex* font des plantes de choix pour la mise en valeur des sols salés.

Les qualités remarquables des *Atriplex*, notamment leur rusticité, leur bonne valeur fourragère, leur résistance élevée à la sécheresse, leur excellent rendement pour de faibles doses d'eau, leur faculté de tolérer des salures élevées font d'elles un outil irremplaçable dans la mise en valeur des régions semi-arides et pré désertiques, et la lutte contre la désertification (Mehani *et al.*, 2012). Ces caractéristiques font d'*Atriplex halimus* une excellente espèce pour la réhabilitation des zones dégradées pastorales. Il convient de rappeler que les *Atriplex* sont des halophytes qui poussent généralement dans les sols salés et en bordure des chotts et des sebkhas (Nedjimi, 2010).

Notre travail consiste à évaluer les capacités d'une halophyte *Atriplex halimus* L. à valoriser les sols salés et atténuer les effets de la salinité au profit des cultures agricoles.

Pour cela, un essai d'une culture en intercalaire entre l'*Atriplex halimus* L. et la tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) sur des sols salés naturellement, a été conduit en pots en vue d'étudier l'incidence de l'*Atriplex halimus* L. sur la croissance de la tomate et sur l'évolution de la salinité du sol.

Nous proposons dans une première partie une synthèse bibliographique qui apporte des données sur la salinité des sols, ses origines, ses impacts sur les plantes et les différents modes d'adaptation des plantes vis-à-vis de cette contrainte environnementale. Cette partie bibliographique renferme aussi des données générales sur les deux espèces étudiées, *Atriplex halimus* L et *Lycopersicum esculentum* Mill.

INTRODUCTION

Une présentation du matériel végétal et des techniques utilisées pour répondre à nos objectifs est indiquée dans une seconde partie.

La troisième partie de ce travail décrit les résultats obtenus et leurs discussions.

Et, enfin une conclusion générale qui résume les principaux résultats ainsi que quelques recommandations aux chercheurs et décideurs.

CHAPITRE I.
SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

I. Salinité

La salinité du sol et de l'eau constitue le problème majeur dans beaucoup des pays du monde (Bouassaba et Chougui, 2018). Elle limite considérablement la productivité végétale sur 40% de la surface terrestre Notamment en régions méditerranéennes. En Algérie, 3,2 millions hectares sont affectés par la salinité (Benrebiha et al., 2012).

La salinité limite fortement les rendements et menace la productivité des terres dans les régions arides et semi-arides (Ben Khaled et al., 2007) c' est une menace permanente pour la survie des végétaux (Bouassaba et Chougui, 2018) ce qui entraîne une réduction des surfaces cultivables et représente une menace pour l'équilibre alimentaire de ces régions (Ben Khaled et al., 2007) Un sol est dit « salin » si sa conductivité électrique est $> 4\text{dSm}^{-1}$ ($\sim 36\text{ mM}$) (Bui, 2013).

La salinisation des sols est un phénomène qui correspond à l'accumulation excessive de sels, ce qui se traduit par une diminution de la fertilité des sols (Benrebiha et al., 2012). C'est la présence de concentration excessive de sels solubles ou lorsque les concentrations en Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++} sous forme de chlorures, carbonates ou sulfates sont présentes en concentrations anormalement élevées (Asloum, 1990).

1. Causes de la salinité

Elle peut être naturelle ou induite par les activités agricoles comme l'irrigation des parcelles avec de l'eau de mauvaise qualité et/ou l'utilisation de certains engrais (Bartels et Nelson, 1994; Rubio et al., 1995).

Dans les écosystèmes arides et semi arides, la salinité résulte des fortes évaporations d'eau à partir du sol et d'une irrégulière et insuffisante pluviométrie (Bouassaba et Chougui, 2018) en effet, L'intrusion saline se produit le plus souvent lorsqu'une couche d'eau souterraine fraîche est épuisée par des taux de pompage dépassant les taux de recharge d'eau douce. Cela affecte les aquifères côtiers dans des pays africains exposés à la (Steyl et Dennis 2010).

La salinisation du sol provient aussi de l'irrigation, le plus souvent mal contrôlée (Bennaceur et al., 2001) lorsque la terre a été irriguée avec de l'eau riche en sels, sans contrôle adéquat de l'utilisation de l'eau. On estime que 20% des terres irriguées (62 millions d'hectares) sont affectées par le sel (Ghassemi et al., 1995 ; Metternicht et Zinck, 2003).

Les facteurs naturels (température, sécheresse, infiltration de l'eau de mer et contamination du sol et de la nappe phréatique) accentuent ce phénomène (Aylaji et al., 2001).

Pour **Duchaufour (1983)**, la salinité est due dans les régions sèches à la remontée par capillarité des solutions du sol sous l'influence de l'évaporation, la concentration des solutions augmente, la précipitation des sels intervient, ce qui permet la saturation par le sodium d'une fraction de l'humus et des argiles, qui pourront être entraînés à la période humide suivante.

2. Effet de la salinité sur les plantes

Le problème de la salinité est multiple, car en plus de la toxicité des ions Na^+ et Cl^- (dissous dans l'eau d'irrigation ou présents dans la solution du sol) et de la perturbation de la nutrition minérale (suite aux interactions entre les ions), les plantes ont du mal à absorber l'eau du sol du fait de sa pression osmotique élevée, et cela se traduit par un stress hydrique en plus du stress salin, compliquant et altérant ainsi de façon exponentielle leur état physiologique (**Hanana et al., 2011**)

Les effets de la salinité se manifestent au niveau de la plante entière à des degrés variables se traduisant par des changements morphologiques, physiologiques, biochimiques et moléculaires qui affectent négativement la croissance de la plante et sa productivité (**Wang et al., 2001**). Généralement, la salinité du milieu exerce un effet dépressif, voire même inhibiteur, sur la régénération (**Belfakih et al., 2013**).

De ce fait, Le choix d'une espèce tolérante au sel serait une solution à cette contrainte (**Bouassaba et Chougui, 2018**).

2.1. Effet de la salinité sur la germination

La germination des graines est un ensemble de processus métaboliques aboutissant à l'émergence de la racine. Ce stade de développement est considéré comme une étape critique dans l'établissement des semis et ainsi la détermination d'une production agricole réussie (**Benidire et al., 2015**) La germination et les premiers stades de croissance sont cruciaux pour l'établissement des espèces se développant dans des environnements salins (**Bouda et Haddioui, 2011**).

Les concentrations élevées du sel empêchent la germination d'*Arabidopsis thaliana* (**Zhu, 2001**). En effet, Les effets toxiques sont liés à une accumulation cellulaire de sels qui provoquent des perturbations des enzymes impliquées dans la physiologie des graines en germination, empêchent la levée de dormance des embryons et conduisent à une diminution de la capacité de germination (**Rejili et al., 2006**).

D'après **Benidire et al. (2015)** L'étude de la cinétique de germination montre qu'une concentration croissante en sel engendre un retard de la germination. ce retard peut être expliqué

d'après **Ben Miled et al. (1986)** par le temps nécessaire à la graine pour mettre en place des mécanismes lui permettant d'ajuster sa pression osmotique interne.

D'autre part, L'augmentation de la concentration en sel ne retarde pas la germination bien qu'elle diminue le taux de germination et réduit le pourcentage final de germination. (**Bouda et Haddioui, 2011**).

La germination des graines en présence du stress salin varie d'une espèce à l'autre (**Bouda et Haddioui, 2011**).

2.2. Effet de la salinité sur la croissance et la morphologie de la plante

Chez plusieurs espèces végétales, les dégâts produits par le stress salin se manifestent communément par une séquence de changements morphologiques et physiologiques (**Levigneron et al., 1995**).

Selon **Zouaoui et al. (2018)** la salinité réduit la croissance des parties aériennes des plantes. Elle s'exprime par la réduction des paramètres de croissance tel que la hauteur finale des plants et la biomasse fraîche et sèche des plants (**Boutahraoui et al., 2017**). La réponse immédiate du stress salin est la réduction de la vitesse de l'expansion de la surface foliaire ce qui conduit à l'arrêt de l'expansion si la concentration du sel augmente (**Wang et Nil, 2000**). Cette diminution de la croissance est le résultat au niveau cellulaire d'une baisse du nombre de divisions cellulaires lors des stress abiotiques (**Benmahioul et al., 2009**).

D'une façon générale, l'irrigation avec les eaux salines naturelles conduit à l'augmentation de la salinité dans les milieux et a pour conséquence une chute des prélèvements hydrominéraux des plantes.

Alors que le déséquilibre ionique dans les eaux salines naturelles a pour conséquence une dépression qui peut provoquer

- a/ un ralentissement de la croissance en raison de la lenteur d'absorption hydrominérale ;
- b/ un retard dans la croissance des végétaux qui peut même s'arrêter définitivement : nanisme ;
- c/ une fructification hâtive et peu abondante;
- d/ dans les cas extrêmes, la plante meurt avant d'avoir pu se reproduire. Ces accidents sont d'ailleurs dus davantage à la sécheresse physiologique qu'à une absorption excessive de sels (**Snoussi et Chikhi, 2012**).

2.3. Effet de la salinité sur la nutrition minérale des plantes

Ce stress osmotique se traduit essentiellement par l'accumulation toxique des ions dans les cellules et/ou un déséquilibre nutritionnel dû à un excès de certains ions (Souguir *et al.*, 2013).

Les effets nutritionnels de la salinité incluent les deux actions primaires du sel sur les plantes : la toxicité directe due à l'accumulation excessive des ions dans les tissus et un déséquilibre nutritionnel provoqué par l'excès de certains ions (Haouala *et al.*, 2007) là où il y a un excès de chlorure de sodium dans le milieu de culture, la plante en absorbe des quantités plus que nécessaires ce qui induit une réduction dans l'absorption du Potassium due à la compétition entre les deux ions ce qui provoque une carence en potassium pour la plante (Levitt, 1980)

L'accumulation des ions Na^+ dans la plante limite l'absorption des cations indispensables tels que K^+ et Ca^{2+} . Il y aurait une compétition entre Na^+ et Ca^{2+} pour les mêmes sites de fixation apoplasmique (Haouala *et al.*, 2007) des études sur le piment ont montré que le stress salin a entraîné une diminution significative de la teneur en K^+ et une augmentation significative de la teneur en Na^+ chez les deux variétés étudiées (Bouassaba et Chougui, 2018)

L'augmentation de la concentration du NaCl et du Na_2SO_4 dans le milieu de culture provoque une augmentation de la teneur du Na^+ , du Cl^- et de SO_4^{2-} , et une diminution des teneurs des Ca^{2+} , K^+ , PO_4^{3-} et de l'azote dans la partie aérienne et dans la partie racinaire (Nedjimi, 2010).

La salinité entraînent un déséquilibre ionique et une toxicité chez les végétaux, ce qui peut affecter certains processus métaboliques vitaux (Benmahioul *et al.*, 2009). En effet, une concentration élevée en ions Na^+ , dans le sol diminue l'absorption de l'eau, la croissance, et le niveau de photosynthèse chez les plantes (Tippmann *et al.*, 2006).

2.4. Effet de la salinité sur la photosynthèse

Le taux de la chlorophylle et des caroténoïdes des feuilles diminue en général sous les conditions de stress salin. Les feuilles les plus âgées commencent à développer une chlorose et finissent par tomber pendant une période prolongée de stress salin (Agastian *et al.*, 2000). En effet, L'accumulation des chlorophylles a ; b et a+b dans un milieu salin est inversement proportionnelle à l'enrichissement du milieu en sel (Belfakih *et al.*, 2013).

Les résultats obtenus dans une étude faite sur les plantes de piment, montrent que l'application du stress conduit à une diminution modérée de la teneur en chlorophylle a et chlorophylle b en période de stress (Bouassaba et Chougui, 2018). Le stress salin joue un rôle dans la diminution de l'activité de la chlorophylle et inhibe la synthèse de l'acide 5-amino-levulinique (Santos, 2004). Le sel peut également provoquer la modification de la densité des stomates, du nombre et du diamètre des vaisseaux du xylème chez les halophytes, ou accélérer le cycle biologique avec changement de la voie métabolique de fixation du carbone (Levigneron et al., 1995).

L'excès de sel devient toxique à un certain degré et accélère la sénescence naturelle des feuilles, en réduisant la capacité photosynthétique causé par la fermeture des stomates qui limite l'entrée du CO₂ (Zhu, 2001; Munns, 2002).

Selon Feigin et al. (1991); Grattan et Grieve, (1994), NaCl a un effet antagoniste sur l'absorption de l'azote (N) qui est une composante essentielle de la structure de la molécule de chlorophylle.

2.5. Effet de la salinité sur la disponibilité de l'eau

La première difficulté d'une plante en milieu salin est donc d'assurer son approvisionnement en eau (Nedjimi, 2010) parce que la présence du sel dans le sol se traduit par une réduction de la disponibilité de l'eau d'autant plus importante que le sol est sec et la salinité est forte (Zraibi et al., 2012).

La salinité entraîne un déficit hydrique chez les plantes, dû au stress osmotique éventuellement couplé à des perturbations biochimiques induites par l'afflux d'ions sodium (Parida et Das, 2005 ; Tavakkoli et al., 2011). Elle retarde la capacité de la plante d'absorber l'eau de la solution du sol (Albaho et Green, 2000). En effet, les effets de la salinité (en plus d'un effet toxique dû aux ions Na⁺ et Cl⁻) sont très semblables à ceux de la sécheresse ; ce qui se traduit par des adaptations de la plante qui cherche à réduire ses pertes d'eau et à maintenir ses fonctions vitales (Zraibi et al., 2012).

Cette réduction de la disponibilité de l'eau est, selon Zraibi et al. (2012), d'autant plus importante que le sol est sec et la salinité est forte.

Une augmentation brutale de la salinité du sol se traduit par une réduction immédiate de la croissance foliaire. Celle-ci est associée à une baisse de la turgescence, elle-même liée à la diminution du gradient du potentiel hydrique entre les tissus de la plante et le milieu (Mehani et al., 2012). De ce fait, le stress salin, induit des changements au niveau du statut hydrique de

la plante (Hasegawa *et al.*, 2000 ; Fricke et Peters, 2002) il réduit le contenu relatif en eau des feuilles (Albouchi *et al.*, 2003).

Une forte concentration saline dans le sol est tous d'abord perçue par la plante comme une forte diminution de la disponibilité en eau. Cela nécessite un ajustement osmotique adapté, afin que le potentiel hydrique cellulaire demeure inférieur à celui du milieu extracellulaire et à celui du sol. Ce phénomène assure d'une part la poursuite de l'absorption de l'eau du sol et, d'autre part, la rétention de l'eau intracellulaire et le maintien de la turgescence. Lorsque l'ajustement osmotique n'est pas suffisant, l'eau a tendance à quitter les cellules, ce qui provoque un déficit hydrique et la perte de la turgescence (levigneron *et al.*, 1995).

3. Mécanismes de tolérance des plantes à la salinité

Les végétaux s'adaptent à un milieu fluctuant et contraignant en modifiant leurs caractéristiques morphologiques, phénologiques et physiologiques (Garance, 2018).

La tolérance au sel s'exprime habituellement en termes de croissance, de rendement ou de survie (Benmahioul *et al.*, 2009). Ainsi, les plantes réagissent à ces variations de la salinité dans le biotope pour déclencher des mécanismes de résistance (Belfakih *et al.*, 2013).

Les cellules tendent par conséquent à ajuster leur propre potentiel hydrique en rétablissant l'homéostasie ionique cellulaire, que ce soit par la compartimentation vacuolaire des ions toxiques (Na^+ et Cl^-) absorbés et (ou) leur exclusion hors de la cellule. En revanche, si cela n'est pas suffisant, la plante devra utiliser un autre moyen pour faire face au stress salin, qui consiste à synthétiser et accumuler des solutés organiques osmoprotecteurs, principalement des composés aminés et des sucres. Sur le plan énergétique, cette stratégie osmotique est beaucoup plus coûteuse que la régulation de l'homéostasie ionique. D'autre part, une forte concentration saline dans le sol induit chez la plante la production de formes actives d'oxygène qui provoquent un stress oxydatif dont la réduction des dommages pourrait se faire par le biais de la production d'antioxydants (Hanana *et al.*, 2011).

La tolérance au sel chez la plante est fonction de l'espèce, du génotype, de l'âge et de l'état physiologique des organes (El Mekkaoui, 1990).

L'identification et la compréhension des mécanismes de tolérance des plantes à la salinité présentent l'amélioration variétale des plantes sensibles (Bouassaba et Chougui, 2018)

3.1. Homéostasie ionique

Le problème de la salinité est dû en grande partie à la toxicité des ions sodium et chlorure. De ce fait, la capacité des plantes à réduire leur teneur dans le cytoplasme semble être un des éléments décisifs de la tolérance à la salinité (Hanana et al., 2011)

Cela peut se faire soit par leur exclusion hors de la cellule, soit par leur compartimentation vacuolaire (Hanana et al., 2011) ou par le mécanisme de sélection des ions. En effet, en présence de stress salin, les plantes ont tendance à sélectionner certains ions, cette sélectivité est généralement liée aux mécanismes d'exclusion des ions Na^+ . Une forte sélectivité K^+/Na^+ a été démontrée au niveau du plasmalemme du cortex racinaire et dans le xylème des plantes les plus tolérantes au NaCl (Taleisnik et Grunberg, 1994). Par conséquent, la capacité des génotypes à maintenir des niveaux plus élevés de K^+ et de Ca^{2+} et de faibles niveaux de Na^+ dans les tissus est l'un des mécanismes clés contribuant à l'expression de la tolérance au sel (R'him et al., 2013).

3.1.1. Compartimentation vacuolaire (inclusion)

La capacité des plantes à réduire les teneurs en sodium dans le cytoplasme semble être un des éléments décisifs de la tolérance à la salinité (Yamaguchi et Blumwald, 2006 ; Apse et Blumwald, 2007).

La compartimentation du NaCl dans les vacuoles représente le mécanisme principal de détoxification du sel chez les halophytes (Borsani et al., 2003). L'accumulation de sodium dans la vacuole est réalisable contre son gradient de concentration seulement 4 à 5 fois plus élevé (Hanana et al., 2009).

D'autre part, les halophytes utilisent ce mécanisme de compartimentation de sodium dans la vacuole afin de pouvoir générer un potentiel osmotique au sein des cellules, nécessaire à l'absorption de l'eau au niveau des sols salés (Hanana et al., 2011). En effet, les plantes modifient la composition de leur sève; elles peuvent accumuler les ions Na^+ et Cl^- pour ajuster le potentiel hydrique des tissus, nécessaire pour maintenir la croissance (Munns, 2005).

3.1.2. Exclusion

L'autre stratégie permettant aux plantes de survivre en condition de stress salin consiste à exclure le sodium du cytoplasme vers l'extérieur de la cellule (Hanana et al., 2011). Ces plantes protègent leurs organes aériens contre l'envahissement des ions toxiques (Na^+ et Cl^-) par une rétention de ceux-ci dans les racines (Sâadallah et Abdelly, 2001).

permettent d'ajuster la pression osmotique interne (Driouich *et al.*, 2001) et de détoxifier les cellules (Le Rudulier, 2005 ; Ashraf et Foolad, 2007). Ils consistent à synthétiser des solutés organiques osmoprotecteurs (Hanana *et al.*, 2011) principalement des sucres solubles et des acides aminés, comme la proline et la glycine bêtaïne (Taji *et al.*, 2004; Denden *et al.*, 2005) et à les accumuler dans le cytoplasme et les organites (Ashraf et Foolad, 2007 ; Chen et Jiang, 2010).

L'équilibre osmotique du cytoplasme est alors assuré par une synthèse active de composés organiques solubles (Greenway et Munns, 1980). L'accumulation de ces composés organiques a été mise en évidence chez plusieurs espèces végétales soumises à la contrainte saline. Cette accumulation varie dans de larges proportions suivant l'espèce, le stade de développement et le niveau de la salinité (Zouaoui *et al.*, 2018).

L'osmoprotection s'étant affirmée comme une nouvelle forme de sélection indirecte, prédictive, d'espèces à potentiel d'adaptation élevé, (Brinis et Belkhodja, 2015).

Ces deux éléments biochimiques (proline et sucres solubles) peuvent être considérés comme « marqueurs biochimiques » du degré de tolérance au stress salin (Belfakih *et al.*, 2013).

➤ La proline

L'accumulation de ce composé organique est un phénomène lié aux régimes salins et à l'espèce (Hadjadj *et al.*, 2010). Sa présence dans les feuilles est souvent corrélée avec la capacité des plantes à survivre en condition de stress. Cet acide aminé provient certainement d'une biosynthèse induite et déclenchée par le sel ou une libération des protéines présynthétisées par le phénomène de protéolyse (Delauney et Verma, 1993).

L'accumulation de proline permet la protection de la membrane cellulaire et participe à l'ajustement osmotique (Hassani *et al.*, 2008).

Une augmentation de la teneur en proline et des sucres solubles a été enregistrée au niveau des feuilles des plantes de piment. Elle pourrait être un indice de tolérance de la plante à la salinité, ce qui explique le maintien d'un bon état hydrique parmi les plantes étudiées (Bouassaba et Chougui, 2018).

L'accumulation de la proline chez diverses espèces de plantes stressées a été corrélée à leur capacité de tolérance, et sa concentration est généralement plus élevée chez les plantes tolérantes que les plantes sensibles (Ashraf et Foolad, 2007). Elle agit en tant que composé

soluble compatible dans l'ajustement osmotique pouvant atteindre de fortes concentrations sans exercer d'effet toxique comme le cas des ions (Yancey *et al.*, 1982; Silva-Ortega *et al.*, 2008).

➤ Les sucres

A côté de la proline, les sucres solubles totaux contribuent fortement à l'ajustement osmotique chez les plantes en conditions de stress (Ben Hassine et Bouzid, 2008). Une forte corrélation a été établie entre l'accumulation des sucres et le niveau de tolérance à la salinité (Gilmour *et al.*, 2000; Streeter *et al.*, 2001; Taji *et al.*, 2002; Bartels et Sunkar, 2005). Ils compromettent indirectement la croissance puisque les glucides ne sont pas directement métabolisables et, d'autre part, parce qu'il est aujourd'hui clairement établi que l'accumulation des sucres solubles totaux peut modifier certains paramètres de la photosynthèse en inhibant l'expression de nombreux gènes impliqués dans l'assimilation du CO₂ (Koch, 1996).

Reflétant l'activité métabolique dans les tissus et utilisée comme l'indice le plus significatif pour la tolérance à la déshydratation (Anjum *et al.*, 2011).

Le traitement des plants au chlorure de sodium (NaCl) a conduit à la synthèse et à l'accumulation des sucres totaux et des composés phénoliques dans les feuilles et les racines (Gogbeu *et al.*, 2019). L'accumulation des sucres solubles observés au niveau foliaire est parmi les phénomènes les plus observés dans la réponse au stress (Hajhashemi *et al.*, 2006). En effet, plusieurs auteurs ont montré que les sucres totaux renforçaient le contenu du cytoplasme, ce qui augmenterait la pression osmotique de la cellule par rapport au milieu extérieur (El Midaoui *et al.*, 2007). Ce phénomène permet à la plante de réaliser l'osmose facilement (Gogbeu *et al.*, 2019).

La présence des sucres totaux dans les feuilles à une quantité importante par rapport aux racines est sûrement liée à l'intensité photosynthétique dans cette partie de la plante. En effet, les feuilles des plants contiennent plus de chlorophylles, donc les produits de la photosynthèse seraient plus élevés à cet endroit. Or, les sucres totaux font partie des produits de la photosynthèse (Gogbeu *et al.*, 2019).

Les sucres solubles sont considérés comme bio indicateurs du degré de tolérance à la salinité chez plusieurs espèces (Rathert, 1984 ; Misra et Dwivedi, 1995). En effet, ils jouent un rôle essentiel dans la protection des membranes contre la déshydratation (Schwab et Gaff, 1986).

3.3. Système antioxydant

Les plantes interagissent avec l'environnement pour leur survie, et sont influencées par les facteurs environnementaux incluant des stimulants biotiques et abiotiques qui régulent la biosynthèse des métabolites secondaires (Zhi-lin et al., 2007). De ce fait et suite au stress oxydatif généré par la salinité, la plante va essayer d'y faire face par la production d'antioxydants et de molécules protectrices afin de limiter les dégâts pouvant être engendrés suite à cette accumulation et combinaison de stress hydrique, salin et oxydatif (Hanana et al., 2011).

En situation de stress, les plantes développent des systèmes enzymatiques antioxydants (Dalyan et al., 2020). Ces systèmes antioxydants enzymatiques comprennent plusieurs enzymes, entre-autre, la catalase (CAT), les peroxydases (POD), le gaïacol peroxydase (GPx) et l'ascorbate peroxydase (APx) (Hattab et al., 2016 ; Alamri et al., 2018 ; Khan et al., 2018).

Les peroxydases sont une large famille multigénique, d'oxydoréductases. Elles jouent un rôle essentiel dans la physiologie de la plante et sont impliquées dans la réponse des plantes aux stress environnementaux (Benkaddour et al., 2013) et La catalase (CAT) est parmi ces enzymes qui jouent un rôle important dans la transformation et l'élimination du peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) en (H_2O) (Benkaddour et al., 2013).

Les phénomènes radicalaires de base sont utiles au bon fonctionnement de l'organisme. L'altération des composants cellulaires et des structures tissulaires intervient lorsque l'intensité de ces phénomènes augmente anormalement et dépasse la quantité d'antioxydants disponibles. La conséquence de ce déséquilibre va entraîner une agression appelée « stress oxydatif » (Rahman, 2002). Afin d'éliminer ces formes actives d'oxygène, les plantes possèdent des antioxydants (de nature non enzymatique) de faible masse moléculaire, tels que les composés phénoliques, les flavonoïdes, les anthocyanes, et l'acide ascorbique (Ashraf, 2008) qui agissent comme des agents réducteurs, donneur d'hydrogène en piégeant les radicaux libres et en chélatant les ions (Valko et al., 2006).

Les composés phénoliques participent à la rigidification cellulaire par le renforcement des parois cellulaires (Majourhat et Baaziz, 2004).

3.4. Adaptation morphologique

La réponse au sel des espèces végétales dépend de plusieurs variables, commençant par l'espèce même, de sa variété, aussi de la concentration en sel, des conditions de culture et du stade de développement de la plante (Mrani Alaoui et al., 2013).

Selon **Hanana et al. (2014)** le nombre de feuilles et la surface foliaire sont des caractères importants pour l'adaptation des variétés de vigne au stress salin. En fait, la réduction de la surface foliaire pourrait correspondre à une forme d'adaptation à la salinité, car ce comportement tend à minimiser les pertes d'eau par transpiration.

La baisse de production de biomasse sèche est une réponse classique à la contrainte saline (**Hanana et al., 2014**). D'autre part en réponse à la forte salinité, différentes espèces ont montré une augmentation du poids sec des racines par rapport au poids sec de la partie aérienne. Ceci est censé améliorer le rapport source/puits pour l'alimentation en eau et en nutriments dans de telle condition de stress (**Zekri et Parsons, 1989**).

La réduction de la croissance est une capacité adaptative nécessaire à la survie d'une plante exposée à un stress abiotique. En effet, ce retard de développement permet à la plante d'accumuler de l'énergie et des ressources pour combattre le stress avant que le déséquilibre entre l'intérieur et l'extérieur de l'organisme n'augmente jusqu'à un seuil où les dommages seront irréversibles (**Zhu, 2011 ; Karoune et al., 2017**).

II. Présentation des espèces expérimentées

1. *Atriplex halimus* L.

1.1. Intérêts des plantes halophytes

Les halophytes sont des plantes naturellement adaptées aux milieux salés (Flowers et Colmer, 2015) ces plantes natives des écosystèmes salins, présentent des intérêts économiques (alimentation humaine, fourragers), écologiques (fixation des sols et des dunes et aménagement des parcs) et médicinaux (source importante des substances bioactives) (Bankaji et Sleimi, 2012) elles peuvent être soumises, dans leur biotope naturel, à divers stress environnementaux tels que la sécheresse et/ou la salinité (Ksoury et al., 2010).

Selon leur exigence en sel, Le Houérou (1993), classe les halophytes en trois catégories :

- Les halophytes proprement dits : tolérant des taux relativement faibles, de 40 à 100 mM dans une solution de sol.
- Les euhalophytes : supportent des concentrations salines de l'ordre de 100 à 500 mM (Atriplex spp.).
- Les hyperhalophytes : se développent à des concentrations excédant celles de l'eau de mer (Espèces de Sueda et Salicornia).

Les halophytes possédants cette capacité d'absorber et d'accumuler les sels sont choisies pour remédier les sols affectés par la salinité et leur revalorisation (Keiffer et Ungar, 2002).

Certains halophytes sont considérés comme des régulateurs de salinité. On a des halophytes régulateurs qui n'absorbent pas le sel mais en excrètent des quantités considérables par leurs racines et d'autres qui absorbent le sel, mais excrètent de grandes quantités dans des glandes à sel spécialisées des feuilles. Le sel excrété cristallisé à la surface des feuilles ; où il devient inoffensif (Hopkins, 2003).

La compartimentation du NaCl dans les vacuoles représente le mécanisme principal de détoxification du sel chez les halophytes (Borsani et al., 2003). D'autre part, les halophytes utilisent ce mécanisme de compartimentation de sodium dans la vacuole afin de pouvoir générer un potentiel osmotique au sein des cellules, nécessaire à l'absorption de l'eau au niveau des sols salés.

Certaines plantes halophytes modérément tolérantes peuvent également exclure les ions Na^+ et Cl^- à travers des glandes et vésicules (Blumwald et al., 2004).

Les halophytes, plantes dotées de caractéristiques requises pour tolérer le sel, semblent constituer un outil précieux pour valoriser les zones marginales fortement salées et menacées

par la désertification (Abdelly, 2004). En effet, des chercheurs ont suggéré que les halophytes ayant une valeur économique pourraient même être utilisés pour inverser le processus de salinisation et restaurer le sol lorsque les techniques de gestion ne sont pas réalisables (Diatta *et al.*, 2000).

1.2. *Atriplex halimus*

L'*Atriplex halimus* (chénopodiacées) est une espèce spontanée, pérenne des régions méditerranéennes arides et semis arides (Nedjimi et Daoud, 2008) qui tolère bien les conditions de sécheresse et de salinité (Le Houérou, 2000). Ce sont des halophytes qui poussent généralement dans les sols salés et en bordure des chotts et des sebkhas (Nedjimi, 2010).

Les espèces d'*Atriplex* se développent naturellement dans des sols salins ; néanmoins, au cours de leur développement, diverses espèces expriment des niveaux différents de tolérance à la salinité (Bouda et Abdelmajid, 2011).

1.2.1. Systématique et description de l'*Atriplex halimus* L.

1.2.1.1. Description

Atriplex halimus L. (noms usuels Guetaf, Arroche Halime, Pourpier de mer) (Negre, 1961) est une halophyte faisant partie de la famille des Chénopodiacées, reconnue depuis des années déjà pour ses capacités de résistance et d'adaptation aux stress abiotiques (Le Houérou, 1992).

Atriplex halimus L. (saltbush Méditerranée) est un arbuste vivace indigène du bassin méditerranéen (Hcini *et al.*, 2008) monoïques, très exogamie (Le Houérou, 1992; Cibilis *et al.*, 1998; Zervoudakis *et al.*, 1998; Haddioui et Baaziz, 2001). Il se ramifie près de la base, il peut atteindre 3.1 m de hauteur et 3 m de diamètre (Ortiz-dorza, 2005).

Les racines sont grosses, d'abord étalées obliques, puis s'enfonçant verticalement jusqu'à une profondeur variable avec le sol et l'âge de la plante. Les tiges de cette plante sont très rameuses d'une couleur blanche grisâtre plus ou moins anguleuse entièrement feuillées (Negre, 1961). Les feuilles de l'*Atriplex halimus* L. sont persistantes de 2 à 6 cm de long, alternes, simples, entières, avec un court pétiole, ovales arrondies lorsqu'elles sont jeunes, triangulaires plus ou moins lancéolées en suite, vert argenté et plus ou moins charnues, luisantes couvertes de poils vésiculaires très riches en sel (Guittonneau et Huon, 1983 ; Duperrat, 1997).

Les fleurs sont jaunâtres se regroupent en panicules allongées terminales (Duperrat, 1997). La floraison et la fructification se déroulent de Mai à Décembre, c'est une espèce très

polymorphe (Ben Ahmed et al., 1996).

Les *Atriplex* sont caractérisées par un polymorphisme morphologique important qui se manifeste au niveau de la taille des feuilles, des valves fructifères, des graines et encore que dans la production de la biomasse (Ben Ahmed et al., 1996).

L'*Atriplex halimus* L. comprend deux variétés: *Atriplex halimus* L. Var Halimus et *Atriplex halimus* L. Var Schweinfurthii. La première est généralement plus feuillée et se rencontre en zone semi-aride à humide. La seconde se caractérise par ses valves fructifères à ailes nettement dentées sur la marge, avec des rameaux florifères nu au sommet, cette variété est bien répartie dans les zones arides (Franclet et Le Houerou, 1971).

1.2.1.2. systématique de l'*Atriplex halimus* L.

Selon Quezel et Santa (1963) et Dupont et Guignard (2007) l'*Atriplex halimus* appartient au :

Embranchement : Phanérogames ou Spermaphytes

Sous embranchement : Angiospermes

Classe : Endicots Sous classe : Préastéridées

Ordre : Caryophyllades

Familles : Amaranthacées

Genre Espèce : *Atriplex halimus* L.

noms usuels : Guetaf, Arroche Halime, Pourpier de mer (Negre, 1961).

1.2.2. Répartition

Les plantes du genre *Atriplex* sont présentes dans la plupart des régions du globe (Kinet et al., 1998). Elles se rencontrent dans toutes les parties du monde de l'Alaska à la Patagonie, de la Bretagne à la Sibérie et de la Norvège à l'Afrique du sud (Franclet et Le Houerou, 1971).

En Algérie, les *Atriplex* représentent près d'un million d'hectares plus ou moins dégradé (Ouadah, 1982).

L'*Atriplex* est spontané dans les étages bioclimatiques semi-arides et arides, les plus grandes superficies correspondent aux zones dites steppiques (Batna, Biskra, Boussaâda, Djelfa, Saida, Tebessa et Tiaret) (Pouget, 1980). et aux alentours des Chotts : Chott El-Gharbi (Benabadji, 1999), à El Bayadh (Chott Echergui), Mécheria et Tissemsilt (Aboura et al., 2006). Et elle se trouve même à Mostaganem et aux alentours de la Sebkhâ d'Oran (Ghezlaoui,

2001).

Selon **Francllet et Le Houérou (1971)**, *Atriplex halimus* se trouve presque sur tous les étages bioclimatiques, subhumide, humide, aride, semi-aride, saharien supérieur et inférieur.

1.2.3. Comportement de l'*Atriplex halimus* face à la salinité

L'*Atriplex halimus* L. est un arbuste fourrager autochtone qui tolère bien les conditions d'aridité (sécheresse, salinité,...) (**Le Houérou, 1992**).

Chez les plantes d'*Atriplex halimus* et en condition de salinité, L'absorption d'eau est maintenue à un niveau suffisant pour éviter la déshydratation des tissus de la plante et pouvoir ainsi diluer les sels introduits dans les cellules (**Bissati et al., 2011**). Elle présente une bonne hydratation de ses tissus en présence du sel. En général, le statut hydrique de la partie aérienne montre que la turgescence augmente avec l'augmentation de la concentration saline (**Nedjimi, 2010**).

En condition de salinité, l'*Atriplex* spp développe des adaptations physiologiques dont l'accumulation de concentrations élevées en sodium et de chlorures dans la vacuole des cellules et des solutés organiques dans le cytoplasme (**Adams et al., 1992**). Comme la proline qui est accumulée dans le cytosol et elle est accompagnée d'une diminution de la concentration des solutés moins compatibles, comme les sels solubles, et d'une augmentation du volume d'eau du cytosol (**Yazici et al., 2007**).

Chez les halophytes (**Heyser et al., 1989**) La proline est un marqueur biochimique de la résistance ou de la sensibilité des plantes aux stress abiotiques (**Hadjadj et al., 2010**)

Bartels et Nelson (1994), ont montré une bonne capacité à accumuler des quantités massives de sodium dans les vacuoles des feuilles de l'*Atriplex halimus* L. Cette séquestration des ions constitue le mécanisme fondamental par lequel cette halophyte ajuste le potentiel osmotique de leurs tissus internes pour la salinité externe.

1.2.4. Intérêts de l'*Atriplex halimus* L

1.2.4.1. Intérêt fourrager

L'*Atriplex halimus* est un arbuste autochtone à intérêt fourragère, tolère des concentrations salines élevées. Il peut donc être utilisé dans la protection des sols contre l'érosion, dans la valorisation des sols salés, et pour la production fourragère dans les milieux

steppiées (Nedjimi et Daoud, 2008). Ces arbustes fourragers présentent un fourrage vert et de bonne qualité durant toute l'année, constituant ainsi des réserves fourragères sur pieds (Bouda et Abdelmajid, 2011)

Des travaux effectués par Nedjimi (2010) ont confirmé l'adaptation d'*A. halimus* à la salinité et sa tendance à l'halophilie. En effet, l'influence de la salinité dans le milieu se traduit par une stimulation de la production de la matière sèche de même La valeur nutritionnelle, évaluée par la teneur en matière azotée totale de la matière sèche, est peu affectée par la salinité (Nedjimi et Daoud, 2008).

Mehani et al. (2012) suggèrent que L'*Atriplex halimus* a une bonne valeur fourragère, et donne un excellent rendement pour de faibles doses d'eau.

En raison de leur richesse en protéines, elles sont des excellents produits fourragères durant les saisons s les plus défavorables (Le Houérou, 1992).

1.2.4.2. Intérêt écologique

Atriplex halimus L. est un arbuste fourrager autochtone qui tolère bien les conditions d'aridité (sécheresse, salinité,...). Cette espèce peut contribuer à la valorisation des sols marginaux et dégradés (Le Houérou, 1992). Dotée d'une biomasse aérienne et racinaire assez importante, elle constitue un outil efficace et relativement peu coûteux dans la lutte contre l'érosion et la désertification et dans la réhabilitation des terres salées (Mattia et al., 2005).

Parmi les qualités remarquables des *Atriplex*, notamment leur rusticité, leur bonne valeur fourragère, leur résistance élevée à la sécheresse, leur excellent rendement pour de faibles doses d'eau et leur faculté de tolérer des salures élevées, en font un outil irremplaçable dans la mise en valeur des régions semi-arides et pré désertiques, ainsi que la lutte contre la désertification. Enfin leur vigoureuse croissance, leur aptitude à supporter des sols lourds, marneux ou salés en font des plantes de choix pour résoudre les problèmes d'érosion (Bissati et al., 2011). Ces caractéristiques font d'*Atriplex halimus* une excellente espèce pour la réhabilitation des zones dégradées pastorales (Nedjimi, 2010).

1.2.4.3. Déssalinisation des sols salés

L'apparition de plantes tolérantes à la salinité, a permis de valoriser des surfaces croissantes des terres marginales, en particulier par les plantations d'arbustes fourragers

(Nedjimi et al., 2013). Les plantations d'*Atriplex* apparaissent comme l'une des meilleures solutions pour le rétablissement de ces terres et la restauration des sols (Benrebiha et al., 2012).

L'*Atriplex halimus* tolère des concentrations salines élevées incompatibles avec la majorité des espèces végétales cultivées. Il peut être donc utilisée dans la valorisation des sols salés (Nedjimi et al., 2013). Ces plantes peuvent tolérer jusqu'à 45g/l de NaCl. ils peuvent valoriser les sols pauvres et dégradés, comme ils peuvent déssaliniser les sols salés (Pantaner et Le Houerou, 1988). En fait, Il est possible d'extraire d'un hectare d'*Atriplex* 1100 kg de sel (NaCl) des couches superficielles du sol en une année de culture (Franclet et Le Houerou, 1971). Les plantations d'*Atriplex* peuvent, donc permettre la récupération des zones salés (Khan et al., 2000).

L'absorption et l'accumulation de sel effectuées par les halophytes peuvent réduire la sévérité du stress au niveau rhizosphérique, offrant de meilleures conditions pour la croissance des espèces agricoles et, en conclusion, améliorer le rendement (Zuccarini, 2008).

Une étude faite par Rezkallah et al. (2014) sur les concentrations des ions Na⁺ et K⁺ des sols cultivés par *Atriplex halimus*, révèle une diminution de ces éléments de la solution du sol, ce qui démontre qu'il y a eu absorption et donc extraction de sels solubles du sol qui se matérialise par une désalinisation donc une amélioration des propriétés du sol. Ces mêmes auteurs notent que l'*Atriplex halimus*; permet l'amélioration de plusieurs caractéristiques des sols salés.

2. Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.)

La tomate est une des cultures les plus répandues à travers le monde (Shankara et al., 2005). C'est le légume le plus consommé dans le monde après la pomme de terre. Elle est cultivée sous presque toutes les latitudes avec une superficie d'environ 3 millions d'hectares (Messai et al., 2006).

La tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) est devenue un des légumes les plus importants du monde. En 2001, la production mondiale de tomates était d'environ 105 millions de tonnes de fruits frais sur une superficie évaluée à 3,9 millions d'hectares (Shankara et al., 2005).

2.1. Systématique et description botaniques de la tomate

2.1.1. Systématique

La tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) appartient à la famille des Solanaceae qui regroupe également d'autres espèces bien connues telles que la pomme de terre, le tabac, le poivron et l'aubergine. Elle est l'une des espèces les plus cultivées au monde (Shankara et al., 2005 ; Aglinglo et al., 2018). C'est une liane d'origine tropicale, appartenant au genre Solanum qui comprend plus de 1300 espèces (Lecompte et Causse, 2014).

2.1.2. Description botanique

Forte racine pivotante qui pousse jusqu'à une profondeur de 50 cm ou plus. La racine principale produit une haute densité de racines latérales et adventices (Shankara et al., 2005).

Le port de croissance varie entre érigé et prostré. La tige pousse jusqu'à une longueur de 2 à 4 m. La tige est pleine, fortement poilue et glandulaire. Feuillage Feuilles disposées en spirale, 15 à 50 cm de long et 10 à 30 cm de large (Shankara et al., 2005).

Les folioles sont attachées au rachis par un pétiole. Les inter-folioles sont plus petites que les folioles principales et sont situées entre les paires successives de folioles (attachées au rachis), tandis que les intra-folioles, de petite taille sont attachées aux pétioles des folioles (Garance, 2018). Elles sont ovées à oblongues, couvertes de poils glandulaires. Les grandes folioles sont parfois pennatifides à la base. L'inflorescence est une cyme formée de 6 à 12 fleurs. Le pétiole mesure entre 3 et 6 cm (Shankara et al., 2005).

Les folioles sont insérées sur le pétiole de la feuille par l'intermédiaire de petites ramifications. Les feuilles sont vertes, poilues et ont une odeur forte lorsqu'on les froisse. Au point d'insertion du pétiole sur la tige on trouve un bourgeon qui donne souvent naissance à une nouvelle ramification (Shankara et al., 2005).

Les fleurs de tomate sont regroupées en inflorescence formant des grappes. Elles sont hermaphrodites et autofécondes, c'est fleur. À l'anthèse, la fleur est pleinement épanouie et peut alors être fécondée, cette période ne dure que quelques jours (Capucine, 2010). Ces fleurs Bisexuées, régulières et entre 1,5 et 2 cm de diamètre. Elles poussent opposées aux - ou entre les feuilles. Le tube du calice est court et velu, les sépales sont persistants. En général il y a 6 pétales qui peuvent atteindre une longueur de 1 cm, qui sont jaunes et courbées lorsqu'elles sont mûres. Il y a 6 étamines et les anthères ont une couleur jaune vif et entourent le style qui a une extrémité stérile allongée. L'ovaire est supère avec entre 2 et 9 carpelles. En général la plante est autogame, mais la fécondation croisée peut avoir lieu. Les abeilles et les bourdons sont les principaux pollinisateurs (Shankara et al., 2005).

Les étamines sont soudées les unes aux autres pour former un cône pollinique qui se referme autour de l'organe femelle situé en son centre. Seule une petite ouverture à son extrémité (le stigmate) permet au pollen des autres fleurs de pénétrer dans le pistil (Lambert, 2017).

La grappe florale de la tomate se compose d'une succession d'aisselles portants chacune une seule fleur, la tige principale de la grappe (pédoncule) peut se ramifier une ou plusieurs fois (Chaux, 1971).

Le fruit de la tomate est une baie (fruit à péricarpe entièrement charnu, contenant des graines appelées pépins). La pulpe charnue est divisée en loges contenant les graines dans un mucilage (Garance, 2018). Il est de forme globulaire ou aplatie avec un diamètre de 2 à 15 cm. Lorsqu'il n'est pas encore mûr, le fruit est vert et poilu. La couleur des fruits mûrs varie du jaune au rouge en passant par l'orange. En général les fruits sont ronds et réguliers ou côtelés (Shankara *et al.*, 2005).

La tomate peut être de forme, de couleur et de tailles très différentes suivant les variétés. Elle est constituée de plusieurs loges contenant La partie charnue, appelée péricarpe, provient de la différenciation des parois de l'ovaire de la fleur. Elle est divisée en trois parties le péricarpe externe, le péricarpe radial et le péricarpe interne appelé columelle. Dans le péricarpe externe, on distingue l'exocarpe membrane externe de la tomate ou peau, l'endocarpe membrane interne qui délimite les loges et le mésocarpe charnu constitué de plusieurs couches de cellules (Capucine, 2010).

La plante produit des bouquets de fruits charnus toutes les trois feuilles, au cours d'une croissance naturellement indéterminée (Lecompte et Causse, 2014).

Les graines sont nombreuses, en forme de rein ou de poire. Elles sont poilues, beiges, 3 à 5 mm de long et 2 à 4 mm de large. L'embryon est enroulé dans l'albumen. 1000 graines pèsent approximativement 2,5 à 3,5 g. (Shankara *et al.*, 2005).

2.2. Exigences écologiques

2.2.1. Température et lumière

La tomate demande un climat relativement frais et sec pour fournir une récolte abondante et de qualité. La température optimale pour la plupart des variétés se situe entre 22 et 25°C (Aglinglo et al., 2018) et entre 15° et 17°C la nuit (Capucine, 2010). Cependant, la plante s'est adaptée à une grande diversité de conditions climatiques, allant du climat tempéré vers le climat tropical chaud et humide mais en-dessous de 10°C et au-dessus de 38°C les tissus des plantes seront endommagés (Shankara et al., 2005). En effet, La tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) est détériorée après un délai plus ou moins prolongé à une température inférieure à 10 °C ; tous les stades du développement sont affectés : la germination, la croissance, la nouaison et la maturation des fruits (Côme, 1992).

Les exigences de la tomate en lumière sont aussi très grandes. La tomate est une culture neutre à la photopériode. Cependant, elle est exigeante en énergie lumineuse notamment pour l'initiation florale (Philouze et Hedde, 1993). En effet, les fortes intensités lumineuses encouragent le raccourcissement de l'axe et l'induction de premier bouquet, surtout à des températures basses. Pendant la floraison, une forte intensité favorise la pollinisation et régularise la croissance du style. Par contre, l'intensité directe a un effet nocif sur la qualité du fruit (Chaux et Foury, 1994).

Tableau 1: Températures requises pour les différentes phases de développement d'un pied de tomate (Shankara et al., 2005)

Phases	Température (° C)		
	Min.	Intervalle optimale	Max.
Germination des graines	11	16-29	34
Croissance des semis	18	21-24	32
Mise à fruits	18	20-24	30
Développement de la couleur rouge	10	20-24	30

2.2.2. L'eau

Les besoins en eau de la tomate se situent entre 4000 et 5000 m³ / ha. Ces besoins varient en fonction des différentes phases physiologiques de la plante (ITCMI, 1995).

La tomate est très exigeante en eau. Le manque d'eau à n'importe quel stade de croissance réduit le rendement et la qualité du fruit. Une alimentation irrégulière en eau entraîne

une irrégularité dans l'alimentation en calcium et par conséquent l'apparition des nécroses apicales (Chaux et Foury, 1994). et provoque la chute des bourgeons et des fleurs ainsi que le fendillement des fruits (Shankara et al., 2005).

2.2.3. Humidité

Elle joue un rôle important pour la bonne végétation de la tomate, l'humidité optimale de l'air est de 50 à 60% (Shankara et al., 2005). Si le taux d'humidité est élevé ça peut causer des problèmes, parce qu'il favorise l'établissement de nombreux champignons et bactéries pathogènes. Alors qu'un taux d'humidité faible constitue une source de stress pour la plante (Baptista et al., 2012).

2.2.4. Sol

La tomate pousse bien sur la plupart des sols minéraux qui ont une bonne capacité de rétention de l'eau, une bonne aération et qui sont libres de sels. Elle préfère les terres limoneuses profondes et bien drainées. La couche superficielle du terrain doit être perméable. Une profondeur de sol de 15 à 20 cm est favorable à la bonne croissance d'une culture saine. Dans les sols d'argile lourde, un labourage profond permettra une meilleure pénétration des racines (Shankara et al., 2005). Elle pousse bien sur des sols légers, perméables, riches en matières organiques et dont le pH se situe entre 6 et 6,5. (Aglinglo et al., 2018).

2.3. Importance de la tomate

2.3.1. Importance économique

La tomate se positionne au premier rang mondial des fruits cultivés avec une production d'environ 127 millions de tonnes en 2007 (FAO, 2007). Elle est produite presque partout dans le monde et à n'importe quelle saison. Ses fruits se retrouvent aujourd'hui consommés toute l'année, dans le monde entier. Elle joue, par conséquent, un rôle important dans l'alimentation humaine (Capucine, 2010). Elle occupe une place privilégiée dans le secteur maraîcher en Algérie. Elle est considérée comme une espèce prioritaire et classée en troisième lieu après la pomme de terre et l'oignon. La production moyenne en 2011 est de 790 mille tonnes avec un rendement moyen de 336 Qx / ha (Snoussi, 2010).

La tomate est une culture de rente importante pour les petits exploitants et pour les agriculteurs/trices commerciaux qui ont une exploitation moyenne (Shankara et al., 2005).

La tomate est un fruit populaire qui s'est adapté à une consommation de masse (Lecompte et Cause, 2014). Et comme c'est une culture à cycle assez court qui donne un haut rendement, elle a de bonnes perspectives économiques (Shankara et al., 2005).

Les fruits séchés et les fruits mis en conserve sont des produits transformés qui ont également une importance économique (Shankara *et al.*, 2005).

2.3.2. Valeur alimentaire

La consommation des fruits de la tomate contribue à un régime sain et équilibré. Les fruits sont riches en minéraux, en vitamines, en acides aminés essentiels, en sucres ainsi qu'en fibres alimentaires. La tomate contient beaucoup de vitamines B et C, de fer et de phosphore (Shankara *et al.*, 2005).

La tomate est considérée comme un aliment santé car elle est faiblement calorique, riche en minéraux et qu'elle contient de nombreux antioxydants (vitamine C, polyphénols, caroténoïdes) (Capucine, 2010).

2.4. Maladies et ravageurs

La tomate, durant tout son cycle de production est sujette à l'attaque de plusieurs ravageurs. Il s'agit essentiellement des nématodes, acariens, pucerons. Le tableau suivant présente un plan de gestion de ces ravageurs (Aglinglo *et al.*, 2018).

Tableau 2 : maladies et ravageurs de la tomate, les symptômes et les méthodes de lutte

Ravageurs / Maladies	Symptômes	Méthodes de lutte
Nématodes	<ul style="list-style-type: none"> • Présence de galles sur les racines des plantes. • Les plants atteints sont rabougris et sont sensibles aux maladies fongiques et bactériennes transmises par le sol. 	<ol style="list-style-type: none"> (1.) Utiliser des variétés résistantes. (2.) Désinfection du sol par solarisation. (3.) Utilisation des tourteaux de neem.
Pucerons	<ul style="list-style-type: none"> • Présence de petits insectes non volants à la face inférieure des feuilles. • Enroulement vers le bas des jeunes feuilles. 	<ol style="list-style-type: none"> (1.) Débarrasser l'espace des débris végétaux des cultures précédentes. (2.) Emploi modéré des fertilisants azotés, appliquer des fertilisants organiques.

		<p>(3.) Pulvériser avec une solution de savon et d'extraits de neem tous les cinq jours.</p> <p>(4.) Pulvériser avec des produits à base d'acétamipride.</p>
Viroses	<ul style="list-style-type: none"> • Déformation et décoloration des feuilles 	<p>(1.) Utiliser des variétés résistantes.</p> <p>(2.) Lutter contre les vecteurs (mouches blanches)</p>
Acariens	<ul style="list-style-type: none"> • Présence en dessous des feuilles. • Apparition de petites taches jaunes sur toute la surface de la feuille. • Dessèchement des feuilles attaquées. • Brunissement des tiges. 	<p>(1.) Irrigation par aspersion ou production en saison pluvieuse.</p> <p>(2.) Stimuler la présence des prédateurs naturels par la pratique des cultures intercalaires.</p> <p>(3.) Pulvérisation avec des produits à base d'Abamectine</p>
Noctuelle de la tomate <i>(Helicoverpa amigera)</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Présence d'un petit trou rond sur le fruit. • La chenille se loge et se nourrit à l'intérieur des fruits tout en y laissant ses déjections. 	<p>(3.) Pulvériser avec des produits à base d'émamectine benzoate NB : Intensifier le traitement à l'apparition des fleurs</p>
Fusariose et Bactériose	<ul style="list-style-type: none"> • Flétrissement brutal de la plante 	<p>(1.) Utilisation variétés résistantes.</p> <p>(2.) Rotation culturale.</p> <p>(3.) Elimination des résidus des cultures.</p> <p>(4.) Application de fongicide en traitement préventif</p>

2.5. Tomate face à la salinité

La salinité est un stress complexe qui affecte tous les stades de vie de la plante depuis la germination jusqu'à la maturation des fruits (Benazzouk et al., 2018). Le problème se pose

avec une acuité particulière dans les régions Méditerranéennes où la limitation des ressources en eau de bonne qualité pour l'irrigation associée à une évapotranspiration importante peut être à l'origine de la salinisation progressive des sols (**Benazzouk et al., 2018**).

Selon **Snoussi et al. (2004)**, la tomate est considérée comme une espèce sensible et moyennement sensible à la salinité liée à une forte concentration en sels totaux.

En Algérie, la salinité des sols ou encore les eaux d'irrigation chargées en sels, représentent un facteur limitant de la production de la tomate, notamment dans les régions semi-arides et arides (**Boutahraoui et al., 2017**).

Le facteur salinité exerce une action défavorable sur la physiologie et la morphologie des plants de tomate. En effet, les plants irrigués par la solution saline naturelle présentent des perturbations physiologiques très importantes et sévères. Le stress salin s'exprime par la réduction des paramètres de croissance tel que la hauteur finale des plants et la biomasse fraîche et sèche des plants (**Boutahraoui et al., 2017**). Les teneurs en chlorophylle a, chlorophylle b et en chlorophylle totale ont été significativement réduites (**El-iklil et al., 2002**).

Dans le même contexte **Ould Mohamdi et al. (2011)** Suggèrent que la tomate est sensible à des concentrations modérées de sels dans le sol et que la salinité affecte tous les processus physiologiques de la plante ainsi que son développement et sa croissance. Selon leurs Tavaux, la salinité a significativement réduit la capacité germinative des graines de la tomate conduite en condition de salinité. Cette diminution du pourcentage de germination est due soit à une augmentation de la pression osmotique externe, ce qui affecte l'absorption de l'eau par les graines, ou à une accumulation des ions Na^+ et Cl^- au niveau de cellules de l'embryon (**Ould Mohamdi et al., 2011**).

L'arrosage des plantes de la tomate avec des eaux salines a pour conséquence une dépression qui peut provoquer a/ un ralentissement de la croissance en raison de la lenteur d'absorption hydrominérale ; b/ un retard dans la croissance des végétaux qui peut même s'arrêter définitivement : nanisme ; c/ une fructification hâtive et peu abondante; d/ dans les cas extrêmes, la plante meurt avant d'avoir pu se reproduire (**Snoussi et Chikhi, 2012**). le nombre de fruits produits ne varie pas mais le poids moyen et la taille des fruits diminuent significativement (**Fabre et al., 2011**).

L'analyse de l'absorption à chaque phase physiologique des plantes de la tomate montre que celle-ci est réduite au niveau des traitements salés naturels en raison de l'accroissement de la salinité et du déséquilibre ionique des eaux testées. La diminution du flux d'eau à travers les

plantes étudiées irriguées par les solutions salines naturelles montre cependant que l'action du sel présente des similitudes avec celle de la sécheresse (Snoussi *et al.*, 2004).

La salinité a été rapportée comme un facteur de l'environnement qui augmente la sensibilité des tomates aux maladies d'origine fongique principalement la fusariose (Standaert *et al.*, 1978) et qui provoque une sensibilité de la tomate vis-à-vis de *Verticillium dahliae*. En effet, plus le milieu de culture est salin plus l'attaque due à l'isolat non pathogène et pathogène est élevée vis-à-vis de la tomate (Boukharta *et al.*, 2012) Une augmentation de l'incidence de la maladie a été corrélée avec l'augmentation de la salinité (Besri, 1991).

La sensibilité au sel de certaines variétés de tomate est liée non seulement à un déséquilibre nutritionnel, mais aussi à l'accumulation excessive de Na^+ et Cl^- dans la plante (Perez-Alfocea *et al.*, 1993 ; Ashraf et Harris, 2004). Les concentrations élevées de NaCl engendrent une toxicité liée à la présence excessive des ions Na^+ qui interfèrent avec les ions K^+ . (Ould Mohamdi *et al.*, 2011). En effet, Le rapport de sélectivité K^+/Na^+ a diminué dans les feuilles et dans les racines de tous les génotypes suite à l'augmentation de la salinité (El-iklil *et al.*, 2002).

D'autres chercheurs suggèrent que Vis-à-vis de la salinité, la tomate est classée parmi les plantes à tolérance moyenne (Maas, 1986). Néanmoins, sa tolérance à la contrainte saline diffère avec les variétés (El- Iklil *et al.*, 2002).

2.6. Atténuation des effets dépressifs du sel sur la tomate

Chez de jeunes plantes de tomate var. Rio Grande, cultivées en présence de NaCl 100 mM, la fourniture d'acide salicylique 0,1 mM par voie racinaire permet de réduire la mortalité et d'atténuer l'action dépressive du sel sur la croissance. Cet effet positif résulte probablement d'une amélioration de l'alimentation de la plante en K^+ , Ca^{2+} et en anions indispensables et d'un ralentissement de l'accumulation de Na^+ et Cl^- dans les organes photosynthétiques. La vérification de cet effet sur des plantes adultes en production permettrait de préconiser l'utilisation de l'acide salicylique dans l'amélioration de la tolérance au sel chez la tomate cultivée (Ben Ahmed *et al.*, 2010)

Le vermicompost en présence du sel améliore la croissance foliaire des plantes de la tomate et augmente la teneur en eau des feuilles. En outre, il accentue la réduction du potentiel osmotique au niveau racinaire, réduit très faiblement la teneur en Na^+ des feuilles, augmente les teneurs en Na^+ et K^+ des racines et favorise l'accumulation de la proline et des sucres totaux

(Benazzouk *et al.*, 2018). Selon cet auteur, Le vermicompost est un amendement organique qui pourrait être utilisé pour améliorer la croissance de la tomate en conditions de stress salin.

Les résultats d'un travail réalisé par Masmoudi et Chergui (2016) et qui consiste à suivre l'effet des amendements organiques sur l'évolution des paramètres de croissance et rendement du tomate cultivée en condition de salinité, montrent qu'il existe des effets positifs des traitements sur les plantes. Pour le paramètre croissance : l'effet positif du paillage est remarquable sur la longueur des racines, ainsi le rôle positif du fiente de volaille et le paillage sur le nombre moyen de fruits par bouquet. Pour le rendement, l'effet positif du paillage, la fiente de volaille, le soufre et le fumier d'ovin est remarquable (Masmoudi et Chergui, 2016)

Des travaux menés par Kahlaoui *et al.* (2010) ont permis de mettre en évidence l'effet de mode de l'irrigation SDI (irrigation goutte à goutte enterré) sur l'amélioration de la tolérance à la salinité de trois variétés de tomate. En effet, une augmentation des paramètres de croissance, une augmentation du rendement et une diminution des teneurs en Na^+ et une augmentation des ions Ca^{2+} et K^+ a été enregistrée dans le cas de ce mode d'irrigation.

2.7. Culture intercalaire

Dans d'autres situations où une eau de bonne qualité est disponible pour la restauration des sols salins, il peut être économiquement avantageux de faire pousser des cultures simultanément avec les efforts de restauration des sols (Abrol *et al.*, 1988) où il est possible de valoriser les sols salés par la culture de plantes résistantes aux conditions salines et qui présentent un intérêt agricole (Masters *et al.*, 2007).

L'identification d'halophytes utiles et leur introduction dans les sols fortement salés constituent une approche prometteuse pour la réhabilitation et la valorisation de ces zones marginales et peu propices à la majorité des cultures destinées directement à l'alimentation humaine (Weber *et al.*, 2007).

Ces plantes ont développé des réponses physiologiques pour assurer leur approvisionnement en eau tout en préservant leur métabolisme en milieu riche en sels solubles (Malcolm *et al.*, 2003). Elles présentent un haut pouvoir d'ajustement osmotique, renforcé par l'absorption des électrolytes et leur conduite vers les feuilles. Les ions, comme le sodium et le chlore, sont stockés dans la vacuole et permettent ainsi l'établissement d'une pression osmotique interne importante. Ainsi les halophytes sont contraints de stocker les électrolytes dans leurs vacuoles pour éviter toute intoxication (nedjimi, 2010)

L'absorption et l'accumulation de sel effectuées par les halophytes peuvent réduire la sévérité du stress au niveau rhizosphérique, offrant de meilleures conditions pour la croissance des espèces agricoles et, en conclusion, améliorer le rendement (Zuccarini, 2008) parmi eux les *Atriplex* peuvent tolérer jusqu'à 45g/l de NaCl. ils peuvent valoriser les sols pauvres et dégradés, comme ils peuvent déssaliniser les sols salés (Le Houerou et Pontanier, 1988). De ce fait, un domaine prometteur mais pas encore approfondi est représenté par l'utilisation de plantes halophytes en association avec des plantes agricoles dans des conditions du stress salin (Zuccarini, 2008).

Dans le même contexte, Graifenberg *et al.* (2003) qui ont suggéré que Le rendement plus élevé obtenu chez les plantes de la tomate conduites avec des plantes compagnes halophytes (*Salsola soda* L. et *Portulaca oleracea* L) sous stress salin

L'association avec les halophytes est une stratégie prometteuse pour faire face à la salinisation des sols et de l'eau (Zuccarini, 2008).

CHAPITRE II.
MATERIELS ET METHODES

MATERIEL ET METHODES

1. Matériel végétal

Deux espèces végétales ont été expérimentées, la tomate (*lycopersicum esculentum* Mill.), classée comme culture modérément tolérante au sel (Bernstein, 1964).

C'est une plante de la famille des Solanacées, sélectionnée en raison de sa croissance rapide, sa biomasse importante et son intérêt économique et nutritive. Et l'*Atriplex Halimus* L. de la famille des chénopodiacées.

La salinité constitue une contrainte dans beaucoup de périmètres de grande culture où la qualité de l'eau joue un rôle majeur. Donc la recherche des plantes adaptées à des seuils élevés de salinité devient un impératif pour la production agricole. Cette recherche nécessite la connaissance des mécanismes responsables de la tolérance du végétal à la salinité (Arbaoui et al., 2000). Pour cela nous avons étudié l'effet du stress salin sur la croissance de la tomate.

Et puisque, les espèces halophiles appartenant au genre *Atriplex* ont été recommandées pour l'assainissement des anciennes zones minières et des sites industriels (Salo et al., 1996 ; Glenn et al., 2001). En particulier dans les zones côtières ou les zones désertiques, où des fortes concentrations de sels solubles sont également présents dans le sol (De Villers et al., 1995). L'objectif de notre travail est de suivre dans une première étape le comportement morpho-physiologique et chimique de la tomate cultivée en intercalaire de l'*Atriplex halimus* L. et soumise au stress salin et dans une deuxième étape nous évaluons l'effet de l'*Atriplex halimus* L. sur l'évolution de la salinité du sol.

2. Préparation de substrat de culture

Le substrat utilisé correspond aux cinq types de sol prélevés du site expérimental de l'Institut National De La Recherche Agronomique (INRA) de H'madna. Pour s'assurer des différentes caractéristiques physico-chimiques des différents types de sol récupérés, plusieurs traitements et analyses ont été effectuées sur ce sol dont :

- La Granulométrie ;
- Le pH-eau ;
- La Conductivité électrique de l'extrait dilué (CEd1/5) ;
- La Conductivité électrique de la pâte saturée (CEps) ;
- La Matière organique (MO) ;
- Les Sels solubles ;

3. Conditions de culture

Les graines de l'*Atriplex Halimus* L. sont dépoussiérées, désinfectées et stérilisées pendant quelques minutes dans une solution à 0,5 % d'hypochlorite de sodium et enfin rincées à l'eau distillée abondamment avant d'être semées.

Les graines sont ensuite mises en germination dans des pots de 6 cm de diamètre et de 8 cm de hauteur remplis par la tourbe pour la production de plantules à raison d'une graine par pot. L'expérimentation a été menée dans une serre semi contrôlée, au niveau de L'institut National De Sol Irrigation Et Drainage (INSID) d'El Matmar, RELIZANE. Les jeunes plantes d'*Atriplex Halimus* L., et de la tomate (*lycopersicum esculentum* Mill.) âgées d'un mois sont transplantées dans des pots de 20 cm de diamètre et de 17 cm de hauteur, remplis par 3kg des différents types des sols étudiés préalablement.

Le fond de chaque pot a été garni d'une couche de gravier afin d'assurer un bon drainage, cinq types de sol sont retenus (sol non salé ; peu salé ; salé ; très salé et extrêmement salé) avec différents niveaux de salinité (tableau 3). Chaque type de sol comporte 10 pots (05 pots pour l'*Atriplex Halimus* L. associée avec la tomate et 05 pots pour la tomate cultivée seule).

Tableau 3: niveaux de salinité des différents types de sol utilisés.

Type de sol	Non salé	Peu salé	Salé	Très salé	Extrêmement salé
Conductivité électrique (dsm/m)	0,15	4,41	8,86	15,52	22

La nutrition hydrominérale des plantes est assurée par l'arrosage fait trois fois par semaines par l'eau distillée substituée, une fois sur trois par une solution nutritive de type WUXAL Macromix (Annexe 47, Tableau 71).

4. paramètres mesurés sur les plantes

4.1. Paramètres biométriques

4.1.1. Longueur de la partie aérienne (LPA)

La salinité affecte tous les processus physiologiques de la plante. Son effet se traduit, notamment, par une réduction de la croissance en hauteur (Bennaceur et al., 2001). Afin de comprendre ce phénomène, des mesures sont effectuées, elles concernent la longueur de la tige.

4.1.2. Surface foliaire (SF « cm 2 »)

La mesure de la surface foliaire est effectuée à la fin de l'expérimentation à l'aide d'un scanner de type EPSON GT -10000+ , et un logiciel qui s'appelle Image J 1.45S.

4.1.3. Calcul du nombre des feuilles (NF)

L'estimation du nombre des feuilles est un bon indicateur des capacités assimilatrices de la plante et de sa production en biomasse (Fischesser et Dupuistate, 1996).

4.1.4. Calcul du nombre des fruits (NFt)

L'estimation du nombre des fruits est un bon indicateur des capacités assimilatrices de la plante et de sa production en rendement.

4.2. Paramètres physiologiques

4.2.1. Teneur relative en eau

L'eau captée par les racines va occuper l'ensemble des cellules et des espaces intercellulaires du végétal. La mesure de la teneur en eau relative, permet de connaître le niveau de saturation en eau ou de turgescence de la plante. Elle est déterminée selon la méthode décrite par Barrs et Weatherley (1962), puis par Scippa *et al.* (2004). Le limbe foliaire est coupé à sa base puis immédiatement pesé pour déterminer son poids frais (P.F). La feuille est ensuite placée dans un tube à essai contenant de l'eau distillée puis maintenu à l'obscurité à 4°C pendant 12 heures. Les feuilles sont récupérées et essuyées délicatement avec un papier buvard et sont à nouveau pesées, c'est le poids en pleine turgescence (Ppt). Les échantillons sont ensuite mis dans une étuve pendant 48 heures à 80°C pour obtenir le poids sec (PS). La teneur relative en eau (T.R.E) est calculée selon la relation de Clark et Mac-Caig (1982) :

$$\text{TRE (\%)} = [(\text{PF}-\text{PS}) / (\text{Ppt}-\text{PS})] \times 100.$$

4.2.2. Dosage de la Chlorophylle

L'extraction de la chlorophylle a et b est réalisé selon la méthode de Francis *et al.* (1970). Qui consiste en une macération des feuilles (0.1g) dans 10 ml d'un mélange d'acétone et d'éthanol (75 % et 25%) de volume et de (80% et 40%) de concentration ; les feuilles sont coupées en petits morceaux et mises dans les boites noires (pour éviter l'oxydation de la chlorophylle par la lumière), 48h plus tard, on procède à la lecture des densités optiques des solutions avec un spectrophotomètre, à deux longueurs d'ondes (645 et 663 nm).

La détermination des teneurs est réalisée selon les formules suivantes :

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

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

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

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

4.2.3. Dosage de la proline

La proline est dosée selon la technique de **Monneveux et Nemmar (1986)**, qui consiste à mettre (0.1g) de la matière végétale dans un tube à essai et ajouter 2 ml de méthanol à 40%, l'ensemble est ensuite chauffé au bain-marie à 80° C pendant 60minutes ; les tubes sont recouverts de papier aluminium pour éviter la volatilisation de l'alcool. Après refroidissement, on prélève 1ml de la solution, à laquelle on ajoute 1 ml d'acide acétique (CH_3COOH) et 1ml de mélange réactionnel modifié contenant (120 ml d'eau distillé + 300 ml d'acide acétique + 80 ml d'acide ortho phosphorique densité 1.7) et 25 mg de Ninhydrine.

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

- 1- La phase inférieure sans proline.
- 2- La phase supérieure qui contient la proline, celle-ci est ensuite récupérée et déshydratée par l'adjonction d'une pincée de Na_2SO_4 .

Enfin on procède à la détermination de la teneur en proline des échantillons par la lecture au spectrophotomètre à la longueur d'onde 525 nm, Les résultats sont exprimés en $\mu\text{g/g}$ de M.F.

4.2.4. Dosage des sucres solubles

Les sucres simples (glucose, fructose et saccharose) sont extraits par un solvant afin de les solubiliser et de bloquer les activités enzymatique susceptible de les dégrader (**Shields et Burnett, 1960**).

Le principe de la réaction est basé sur la condensation des produits de dégradation des oses neutres par l'acide sulfurique. Ce dernier très concentré transforme à chaud les oses en dérivés furfurals qui donnent une coloration bleu vert avec l'Anthrone. Les solutions d'extractions sont dosées à 585 nm.

100 mg de feuilles ou de racines sont introduits dans un tube à essai contenant 5,25 ml d'éthanol à 80% pendant 20 heures. 2 ml sont prélevés de l'extrait préalablement dilué 10 fois avec l'éthanol 80 % (réactif A). 4 ml de réactif composé de 2 g d'Anthrone pur additionné à un litre

d'acide sulfurique (réactif B) sont ajouté au réactif A. le réactif est préparé 4 heures avant la réalisation de l'essai.

L'ensemble est délicatement mélangé et maintenu dans la glace fondante. Après agitation les tubes sont placés dans un bain-marie à 92°C pendant 8 minutes et ensuite le tout est refroidis pendant 30 mn à l'obscurité. L'absorbance est lue au spectrophotomètre à une longue d'onde de 585 nm.

4.3. Paramètres chimiques

4.3.1. Extraction des éléments minéraux

Les procédés d'extraction et de dosage des sels minéraux sont effectués sur les feuilles et les racines des plantes stressées et témoins par la méthode analytique décrite par (Lafon et al., 1996). Cette méthode consiste à déterminer la composition en élément d'une plante en procédant d'abord par calcination et puis à la destruction complète de la matière organique (Martin-Prevel et al., 1984), le résidu et ensuite analysé.

Après étuvage le matériel végétal sec est broyé à l'aide d'un mortier pour l'obtention d'une poudre fine, il est ensuite conservé dans des piluliers hermétiquement fermés par des bouchons plasmas et mis dans un congélateur pour le reste des opérations. Après séchage à l'étuve à 70°C pendant 16 heures, 100 mg de matière sèche sont incinérés à 450°C pendant 02 heures au four à moufle. Après refroidissement 02 ml de HNO₃/capsule sont ajoutés, puis on remet au four pendant une heure. La cendre obtenue est dissoute dans 3 ml d'HCL (6N) puis filtrée et le volume est amené à 50 ml. A partir de cette solution les dosage de Na⁺, K⁺ et Ca⁺² sont effectués par photométrie à absorption atomique

Dosage du sodium, du potassium et du calcium

Pour chaque élément minéral à doser, des solutions étalons à des concentrations connues devons être préparé à partir d'une solution mère à 01 g/l pour chaque élément, à partir de cette dernière, les solutions étalons peuvent être facilement reproduites.

a) **Le sodium** Pour préparer une solution standard de sodium, il faut mettre 1.000 mg du chlorure de sodium (NaCl) desséché dans une fiole jaugée d'un litre de capacité, compléter le volume avec de l'eau déminéralisée jusqu'au trait de jauge.

b) **Le potassium** Pour préparer une solution standard de potassium, il faut mettre 1.000 mg du chlorure de potassium (KCl) desséché dans une fiole jaugée d'un litre de capacité et compléter le volume avec de l'eau déminéralisée jusqu'au trait de jauge.

c) **Le calcium** Pour préparer une solution standard de potassium, il faut mettre 1.000 mg du

chlorure de calcium (CaCl_2) desséché dans une fiole jaugée d'un litre de capacité et compléter le volume avec de l'eau déminéralisée jusqu'au trait de jauge.

4.4. Paramètres du système antioxydant

4.4.1. Dosage des phénols totaux et des flavonoïdes

4.4.1.1. Extraction

0,2 gr de poudre végétale sont broyées à froid (4°C) dans le méthanol à 80%. Après agitation au vortex, le mélange est centrifugé à une vitesse de 4000×10 mn par une centrifugeuse (Hettich UNIVERSAL/ K2S) et ainsi le surnageant est récupéré. Cette opération est répétée 3 fois pour épuiser le contenu en composés phénoliques solubles de l'échantillon. Les surnageants sont regroupés et constituent l'extrait hydroalcoolique conservé à -20°C pour les analyses. Les différentes étapes d'extraction sont représentées par la figure 2 selon le protocole présenté par **El Hadrami et al. (1997)**.

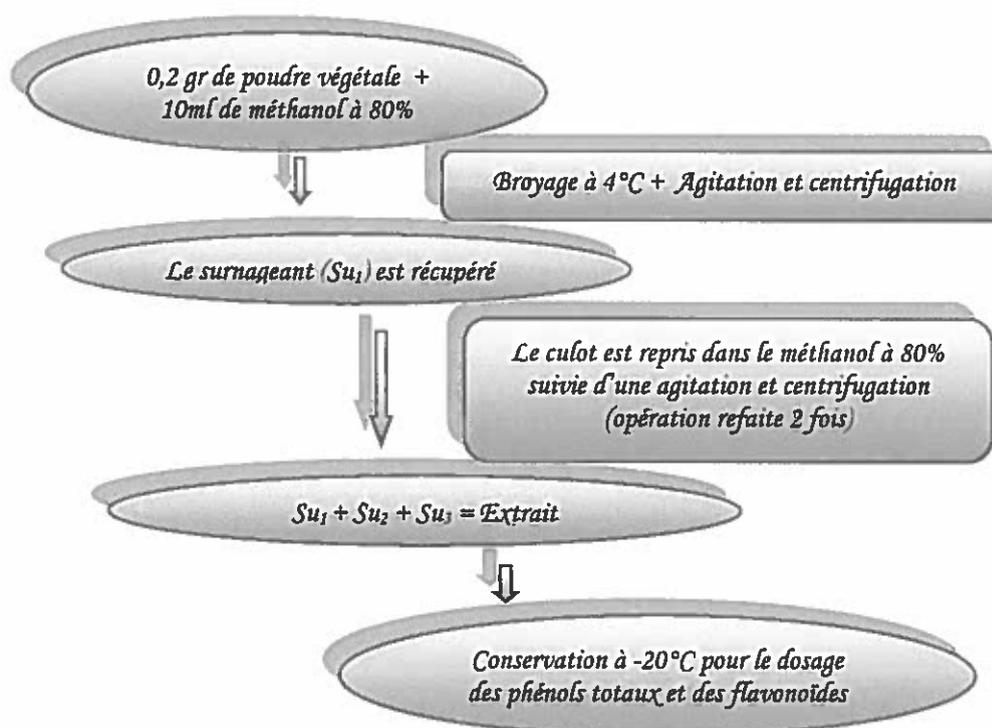


Figure 2. Protocole d'extraction des phénols totaux et des flavonoïdes (**El Hadrami et al., 1997**).

4.4.1.2. Dosage des phénols totaux par spectrophotométrie

➤ Protocole

La teneur en phénols totaux a été estimée par la méthode colorimétrique de Folin-

Ciacaltea (El Hadrami *et al.*, 1997). C'est l'une des méthodes les plus utilisées pour déterminer la teneur en polyphénols des plantes médicinales (Abdel-Hameed, 2009).

50 µl de l'extrait hydroalcoolique sont dilués dans 2,5 ml d'eau distillée additionnée de 250 µl de réactif de Folin-Ciacaltea. Le mélange ainsi obtenu est soumis à une agitation au vortex suivie d'un repos de 5 mn à la température ambiante. Après une seconde agitation, 500 µl de carbonate de sodium 20% y sont ajoutés au mélange. Après incubation à 40°C pendant 30 mn, le mélange est gardé à la température ambiante et à l'obscurité pendant 60 mn. Sa densité optique (D.O) est lue au spectrophotomètre UV-VIS à une longueur d'onde (λ) de 765 nm. Les différentes étapes sont représentées par la figure suivante.

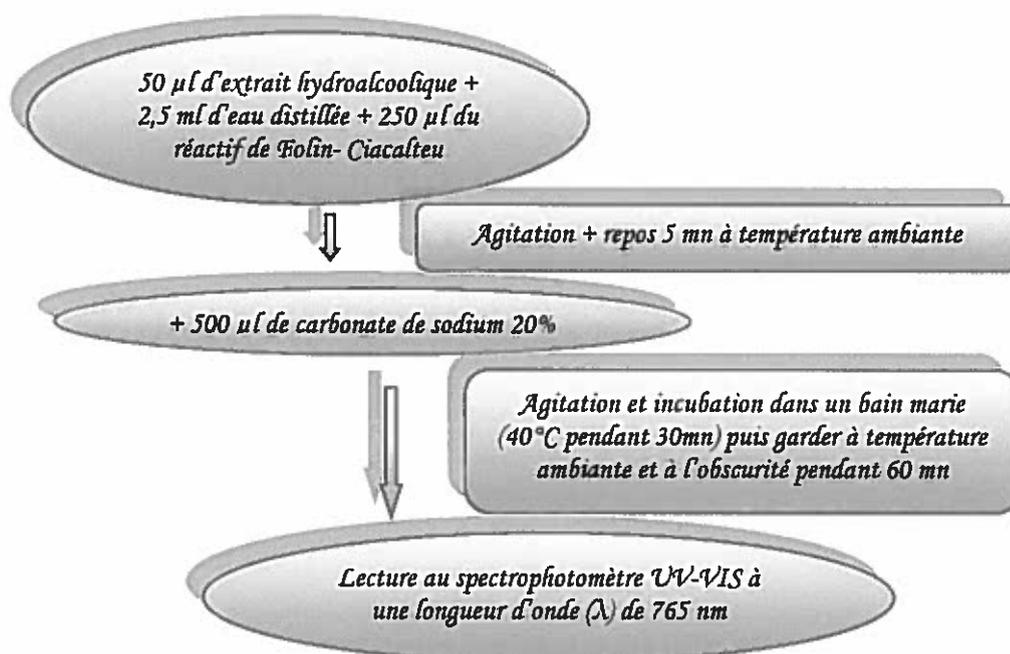


Figure 3. Protocole de dosage des phénols totaux (El Hadrami *et al.*, 1997).

➤ Courbe d'étalonnage

L'acide gallique est le standard le plus souvent employé dans la méthode de Folin-Ciacaltea (Maisuthisakul *et al.*, 2008).

Une courbe d'étalonnage réalisée par l'acide gallique à différentes concentrations (0-100- 200- 300- 400- 500 milligrammes par litre (mg/l) pratiquée dans les mêmes conditions opératoires que les extraits analysés servira à la quantification des phénols totaux (El Hadrami *et al.*, 1997).

4.4.1.3. Dosage des flavonoïdes

➤ Protocole

La quantification du contenu flavonique des feuilles des plantes étudiées est estimée par la méthode du trichlorure d'aluminium (AlCl_3) (El Hadrami *et al.*, 1997).

500 μl d'extrait hydroalcoolique sont mélangés à 1500 μl d'eau distillée et 150 μl de nitrate de sodium à 5%. On laisse reposer le mélange 5 mn à température ambiante et à l'obscurité. Ce mélange est ensuite additionné à 150 μl de trichlorure d'aluminium à 10 %. Après un repos de 11 mn à l'obscurité ; 500 μl de soude (1M) est ajouté. Le mélange est soumis à une agitation au vortex. La densité optique est lue à une longueur d'onde (λ) de 510 nm. Les différentes étapes de dosage sont représentées par la figure 4.

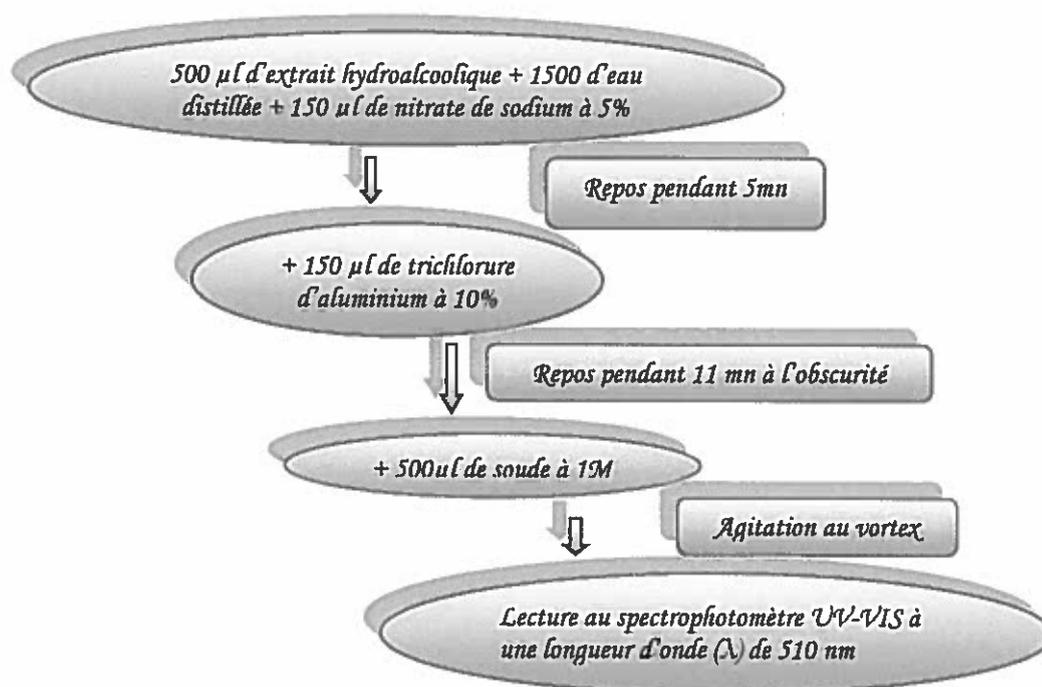


Figure 4. Protocole de dosage des flavonoïdes (El Hadrami *et al.*, 1997)

➤ Courbe d'étalonnage

Une courbe d'étalonnage réalisée par la catéchine à différentes concentrations (0- 10- 20- 30- 40- 50 mg/l) pratiquée dans les mêmes conditions opératoires que les échantillons servira à la quantification des flavonoïdes.

4.4.2. Dosage des enzymes antioxydantes

4.4.2.1. Dosage de Catalase

La catalase est déterminée selon la méthode Zhang *et al.* (2009) par spectrophotomètre

UV-visible. L'activité de la catalase est déterminée par la régression de l'absorption à 240nm par intervalle d'une minute, elle est donnée en $\Delta DO 240/mg$ de protéines.

4.4.2.2. Dosage de peroxydase Gaïacol

La peroxydase est déterminée selon la méthode citée par Zhang *et al.* (2009) par spectrophotomètre UV-Visible à une longueur d'onde de 470nm. L'activité de la peroxydase est calculée par la progression de l'absorption par ½ minute d'intervalle, elle est exprimée en $\Delta DO 470/mg$ de protéines.

5. Les paramètres étudiés sur le sol

5.1. Le pH-eau

Le pH-eau est mesuré sur la fraction du sol <2 mm broyée avec un rapport sol/solution 1/2,5 dans de l'eau distillée. Il est mesuré dans le surnageant après agitation pendant 1 heure et après décantation par un pH-mètre.

5.2. La conductivité électrique

5.2.1. La Conductivité électrique de l'extrait dilué (CED1/5)

Elle est mesurée par le conductimètre sur la fraction du sol <2 mm avec un rapport sol/solution 1/5, dans de l'eau distillée après une agitation pendant 2 heures.

5.2.2. La Conductivité électrique de la pâte saturée (CEps)

Dans une capsule à couvercle, on introduit 200 g de sol séché et tamisé à 2 mm. Une pâte est préparée en ajoutant une quantité d'eau distillée et en la malaxant à l'aide d'une spatule, jusqu'à saturation. A saturation la pâte brille à la lumière, s'écoule légèrement à l'inclinaison de la capsule et glisse librement le long de la spatule. Ensuite, la capsule est fermée et laissée plusieurs heures au repos. La pâte est ensuite centrifugée à 2400 t/min durant quinze minutes. L'extrait obtenu est utilisé pour la mesure de la conductivité par un conductimètre.

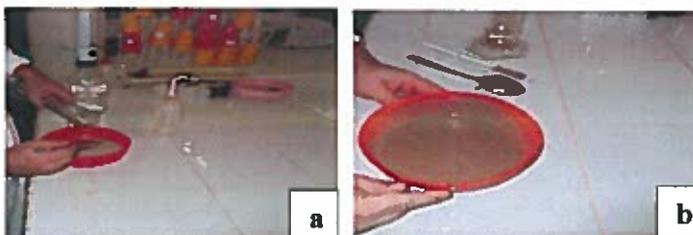


Figure 5 (a et b). Préparation de la pâte saturée.

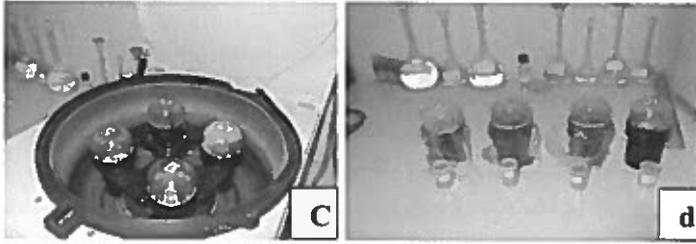


Figure 6 (c et d). Extraction des sels par Centrifugation et Filtration (Extrait saturé).

Figure 7. Mesure de la CE de l'extrait obtenu.

5.3. La Matière organique

L'échantillon du sol est oxydé par l'acide sulfurique concentré en présence du bichromate de potassium. La quantité de $K_2Cr_2O_7$ en excès est dosée en retour par une solution titrée de sel de Mohr (sulfate ferreux) en présence d'indicateur redox (feroïne).

Le pourcentage de la matière organique est obtenu en multipliant le taux du carbone organique obtenu par 1,72.

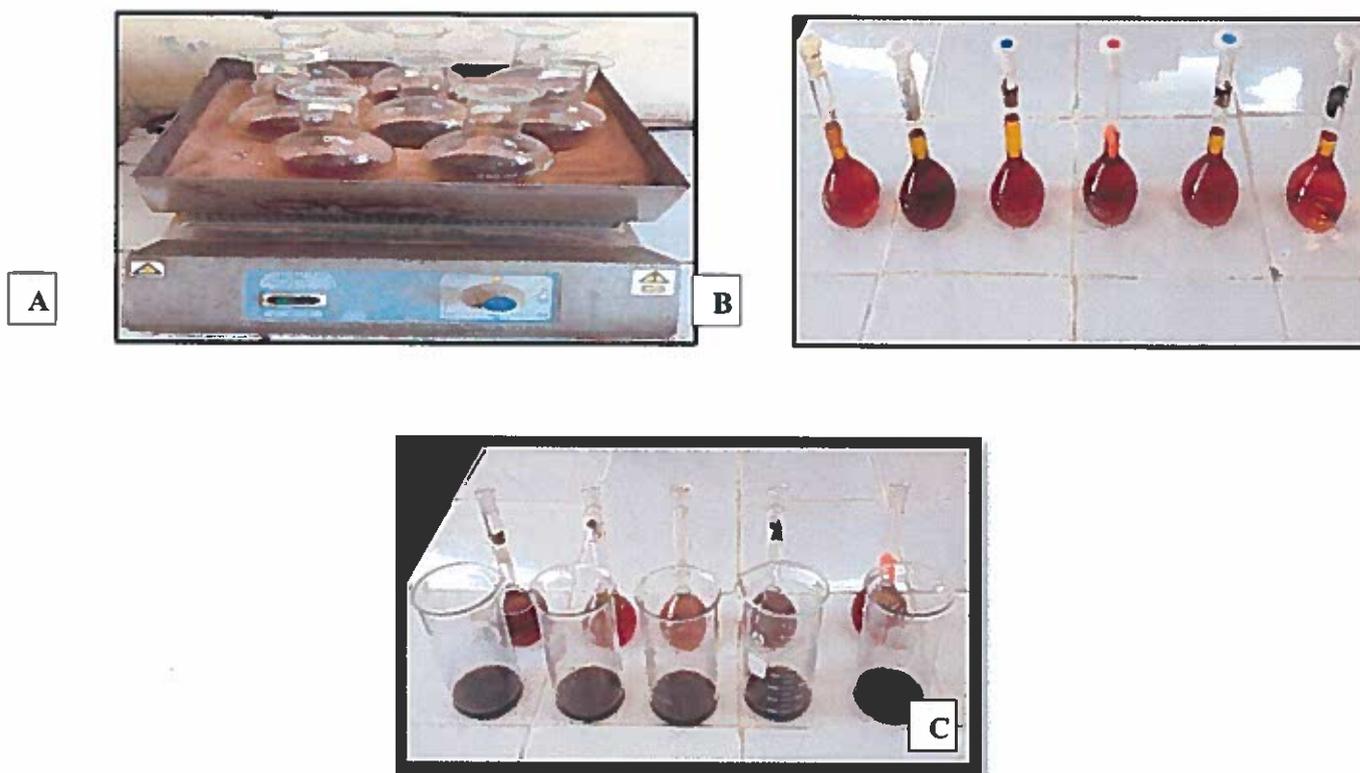


Figure 8. Extraction et dosage de la matière organique

A : Attaque au froid sur le bain de sable.

B : Séparation des phases.

C : Dosage avec le sel de Mohr

6. Analyses statistiques

Les données obtenues sont soumises à une analyse de la variance à deux facteurs en randomisation fixes de classification, réalisés par le logiciel STATBOX 6.40. Pour la comparaison des moyennes, le test de Newman Keuls au seuil de 5% a été utilisé.

CHAPITRE III.
RESULTATS ET DISCUSSIONS

RESULTATS

I. Effet de la salinité sur la tomate

1. Paramètres biométriques

1.1. Longueur de la tige

La figure (09) illustre l'effet de la salinité sur la longueur des tiges des plantes de la tomate cultivées seules et en intercalaire de l'*A. halimus* L. Les tiges diminuent en longueur avec l'accroissement de la salinité pour les deux lots de culture (T) et (T+A). Cependant, cette figure montre que les plantes de la tomate associées à l'*A. halimus* L. expriment des tiges avec une longueur plus importante que les plantes de la tomate cultivées seules. Cette augmentation est enregistrée pour les trois types de sol : peu salé, salé et très salé avec des différences de 24,9%, 6,27% et 23,43% respectivement.

L'analyse de la variance des longueurs des tiges de la tomate (tableau 8) permet de relever un net effet « salinité » très hautement significatif ($p=0,000$) sur l'expression de ce paramètre, à l'inverse de l'effet « *A. halimus* L. » qui reste loin de conditionner les variations obtenues ($p=0,16797$).

Tableau 4: Effet de la salinité et de l'*A. halimus* sur la longueur des tiges des plantes de la tomate.

Niveau de salinité du sol	Longueur de la tige (cm)	
	T	T+A
Non salé	62,4±5,59	56±6,51
Peu salé	39,2±8,87	52,2±2,95
salé	44,8±4,81	47,8±4,14
Très salé	29,4±4,39	38,4±4,77
Extrêmement salé	26±5,47	18±4

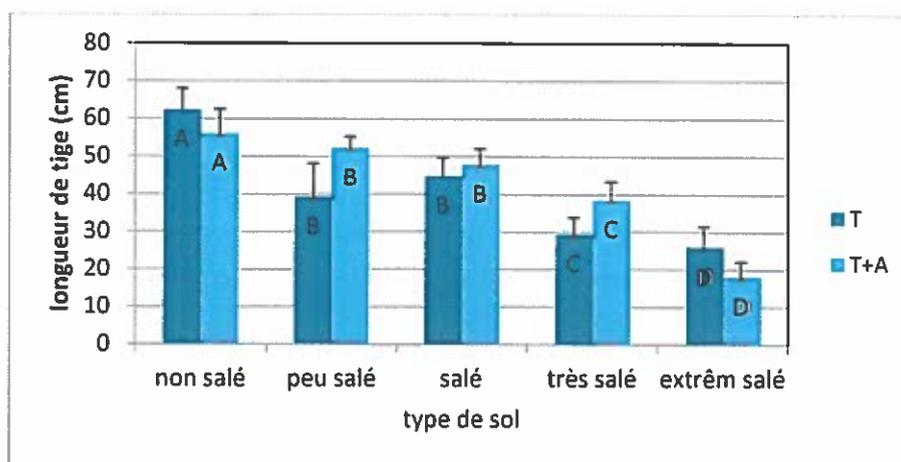


Figure 9. Effet de la salinité du sol sur la longueur de tige des plantes de la tomate cultivées en intercalaire de l'*Atriplex halimus* L.

1.2. Nombre des feuilles par plante

L'effet de la salinité et de la présence de l'*A halimus* L. sur le nombre des feuilles de la tomate est illustré par la figure (10). A l'exception de sol extrêmement salé, le nombre des feuilles par plante de la tomate cultivée en intercalaire de l'*A halimus* L. affiche des valeurs plus élevées que celui des plantes de la tomate cultivées seules.

La comparaison de l'évolution de nombre des feuilles par plante de la tomate montre que le stress salin entraîne une chute de nombre des feuilles par plante aussi bien pour le lot T que pour le lot T+A.

L'étude analytique des variations de ce paramètre (tableau 8) indique que son élaboration est fortement régie par le facteur « salinité » ($p=0,000$) et le facteur « *A halimus* L » ($p=0,01$) semble hautement significatif pour l'élaboration de ce paramètre.

Quant aux effets conjugués, l'interaction « salinité-*A halimus* L. » reste loin de régir les variations enregistrées ($p=0,16532$).

Tableau 5: Effet de la salinité et de l'*A. halimus* sur le nombre des feuilles par plante de la tomate

Niveau de salinité du sol	Nombre des feuilles par plante	
	T	T+A
Non salé	206±15,01	213±33,26
Peu salé	120,6±4,98	163±15,68
salé	145,2±27,19	176,6±32,41
Très salé	157±24,44	161±24,51
Extrêmement salé	94±14,71	90,6±16,38

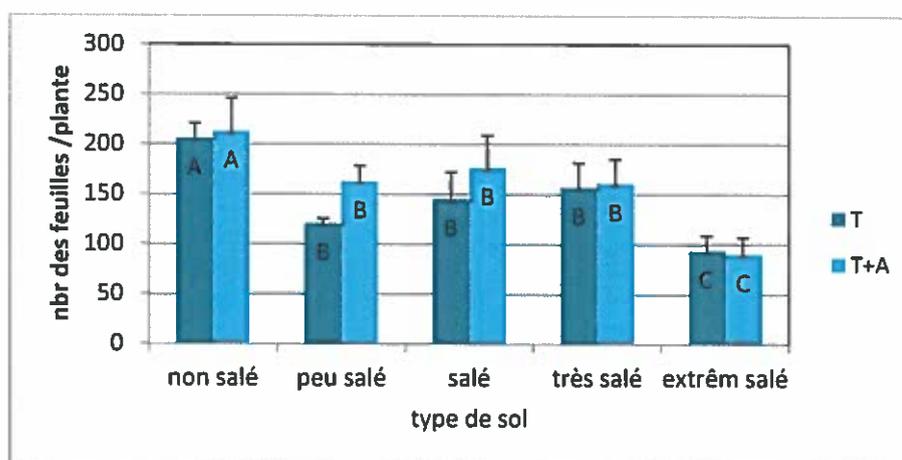


Figure 10. Effet de la salinité du sol sur le nombre des feuilles des plantes de la tomate cultivées en intercalaire de l'*Atriplex halimus* L.

1.3. Surface foliaire

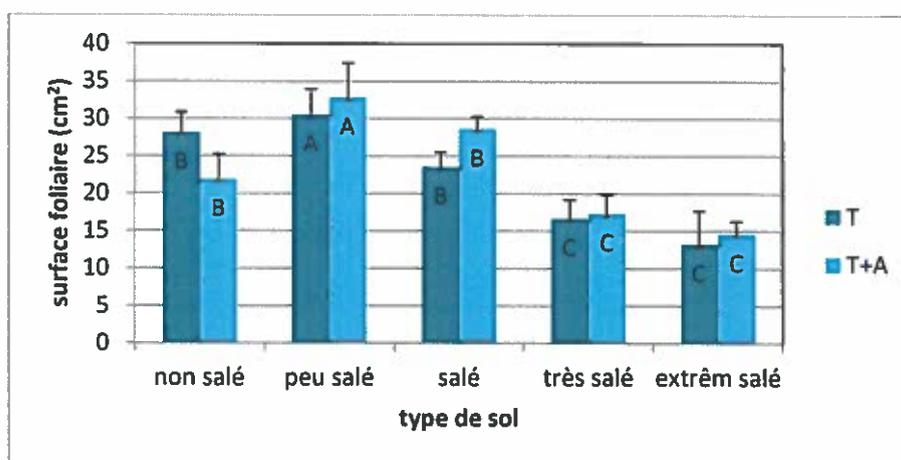
Selon les résultats mentionnés dans la figure (11) il en résulte que la surface foliaire des plantes de la tomate diminue au fur et à mesure avec l'augmentation de niveau des sels dans le milieu de culture des plantes.

Cette régression est enregistrée pour tous les niveaux de salinité sauf pour le cas de sol peu salé dont les plantes de la tomate présente un bon développement de la surface foliaire par rapport au plantes témoins cultivées sur sol non salé.

L'analyse de la variance de ce paramètre (tableau 8) indique que son extériorisation est sous l'étroite dépendance de facteur « salinité » avec un effet très hautement significatif ($p=0,000$) tandis que l'effet « *A halimus* L. » s'avère moins important ($p=0,61176$).

Tableau 6: Effet de la salinité et de l'*A. halimus* sur la surface foliaire des plantes de la tomate

Niveau de salinité du sol	Surface foliaire (cm ²)	
	T	T+A
Non salé	28,17±2,70	21,91±3,31
Peu salé	30,53±3,43	32,82±4,54
salé	23,58±1,9	28,63±1,62
Très salé	16,65±2,52	17,32±2,54
Extrêmement salé	13,25±4,41	14,59±1,70

**Figure 11.** Effet de la salinité du sol sur la surface foliaire des plantes de la tomate cultivées en intercalaire de l'*Atriplex halimus* L.

1.4. Nombre des fruits par plante

Le nombre des fruits par plante de la tomate diminue significativement avec l'augmentation de la salinité de substrat de culture (figure 12). Les deux lots (T, T+A) ont répondu de la même manière à la présence des sels.

En condition de témoin (Absence de la contrainte saline), le nombre de fruit enregistré pour le lot T est légèrement supérieur à celui enregistré pour le lot T+A. cependant pour les autres niveaux de salinité, la présence de l'*Atriplex halimus* L. stimule la tomate à synthétiser un nombre de fruit supérieur par rapport à son absence.

L'analyse de la variance souligne un effet très hautement significatif du facteur salinité ($p=0,000$) alors qu'il n'existe aucun effet significatif du facteur *Atriplex halimus* L. et de

l'interaction de ces deux facteurs.

Tableau 7: Effet de la salinité et de l'*A. halimus* sur le nombre des fruits des plantes de la tomate

Niveau de salinité du sol	Nombre des fruits/plante	
	T	T+A
Non salé	7,2±0,83	7±1,14
Peu salé	6,4±0,89	6,6±1,64
salé	5,2±1,09	5,8±15,16
Très salé	3,2±1,30	3,8±2,28
Extrêmement salé	2,2±1,64	2,4±0,54

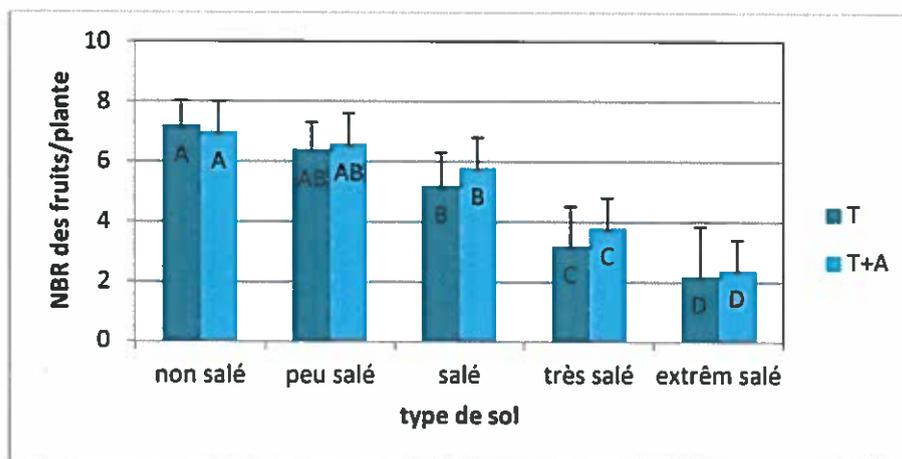


Figure 12. Effet de la salinité du sol sur le nombre des fruits des plantes de la tomate cultivées en intercalaire de l'*Atriplex halimus* L.

Tableau 8 : Analyse ANOVA des paramètres biométriques

Source de variation	Paramètres étudiés			
	Longueur de tige	Nombre des feuilles/plante	Surface foliaire	Nombre des fruits/plante
Facteur salinité (F1)	0,000***	0,000***	0,000***	0,000***
Facteur Atriplex (F2)	0,16797ns	0,01031*	0,61176ns	0,45959ns
Interaction F1 vs F2	0,00017***	0,16532ns	0,05782*	0,95292ns

(ns: non significatif ; * : significatif ; *** : très hautement significatif).

2. Paramètres physiologiques

2.1. Teneur relative en eau

Selon les résultats mentionnés dans la figure (13) il en résulte que la présence des sels dans le milieu de culture des plantes de la tomate induit une diminution de la teneur relative en eau de leurs feuilles.

Pour le même niveau de salinité, les plantes de la tomate cultivées en intercalaire de l'*A. halimus* L. présentent une augmentation de la teneur relative en eau par rapport à celles cultivées seules. Ces augmentations sont de l'ordre de 3,22% pour le sol peu salé, 10,56% pour le sol salé, 6,41% pour le sol très salé et 3,13% pour le sol extrêmement salé.

L'analyse de la variance de la teneur relative en eau des feuilles (tableau 15) permet de relever un effet très hautement significatif de facteur « salinité » ($p=0,00067$) contrairement au facteur « *A. halimus* L » ($p= 0,19244$) qui n'exprime aucune influence.

Tableau 9: Effet de la salinité et de l'*A. halimus* sur la teneur relative en eau des plantes de la tomate

Niveau de salinité du sol	TRE (%)	
	T	T+A
Non salé	85,683±13,375	83,53±8,919
Peu salé	81,085±8,07	83,783±6,287
salé	70,597±5,425	78,933±15,166
Très salé	70,295±8,244	75,115±3,516
Extrêmement salé	67,677±4,515	69,869±2,256

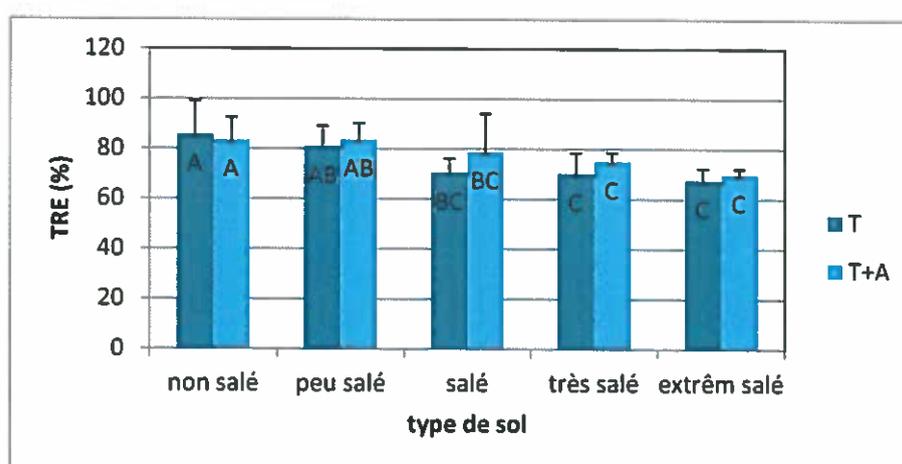


Figure 13. Effet de la salinité du sol sur la teneur relative en eau des plantes de la tomate cultivées en intercalaire de l'*Atriplex halimus* L.

2.2. Teneur en chlorophylle

➤ **Chlorophylle a et b**

Sous l'effet de la contrainte saline, la teneur moyenne en chlorophylle a et b se diminue significativement avec l'intensité du stress salin pour les deux lots de culture (T, T+A).

Comparant ces deux lots de culture de la tomate (figure 14) on trouve que la présence de l'*Atriplex halimus* L. stimulent la synthèse de la chlorophylle a chez les plantes de la tomate associée à cette dernière par rapport à celles cultivées seule. Cependant pour la chlorophylle b cette stimulation est enregistrée seulement pour le sol salé et très salé. En effet nous remarquons des valeurs de chlorophylle b très proche dans les deux lots (T, T+A) pour le sol non salé et peu salé. Alors que pour le sol extrêmement salé la tomate cultivée seule accumule des taux de chlorophylle b qui sont légèrement supérieur à ceux accumulés par la tomate intercalée par l'*Atriplex halimus* L.

L'étude analytique des variations des teneurs en chlorophylle a et b (tableau 15) met en exergue un effet très hautement significatif du facteur « salinité » ($p=0,000$) pour les deux pigments. Alors que le facteur « *A. halimus* L. » a un effet non significatif.

Tableau 10: Effet de la salinité et de l'*A. halimus* sur la teneur en chlorophylle des plantes de la tomate

Niveau de salinité du sol	Teneur en chlorophylle a+b ($\mu\text{g/g}$ de M.F.)	
	T	T+A
Non salé	1,93 \pm 0,23	2,04 \pm 0,34
Peu salé	1,45 \pm 0,06	1,52 \pm 0,18
salé	1,15 \pm 0,30	1,35 \pm 0,39
Très salé	1 \pm 0, 0,17	1,18 \pm 0,16
Extrêmement salé	0,87 \pm 0,10	0,75 \pm 0,08

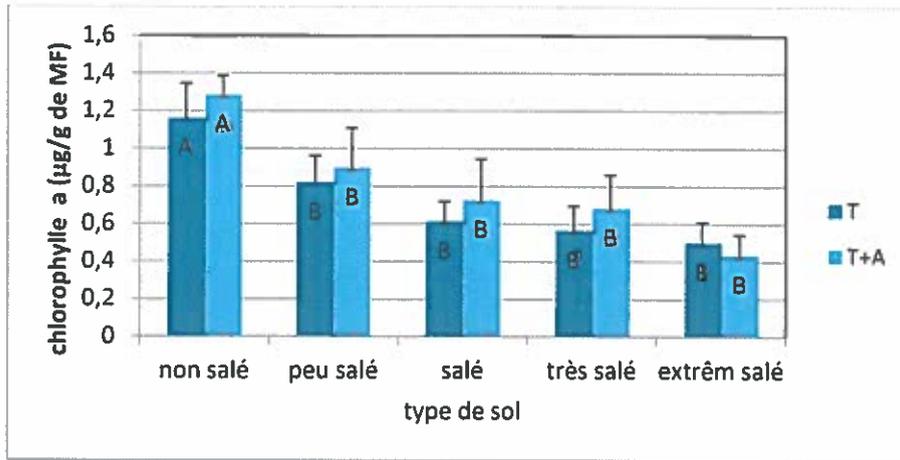


Figure 14. Effet de la salinité du sol sur la teneur en chlorophylle a des plantes de la tomate cultivées en intercalaire de l'*Atriplex halimus* L.

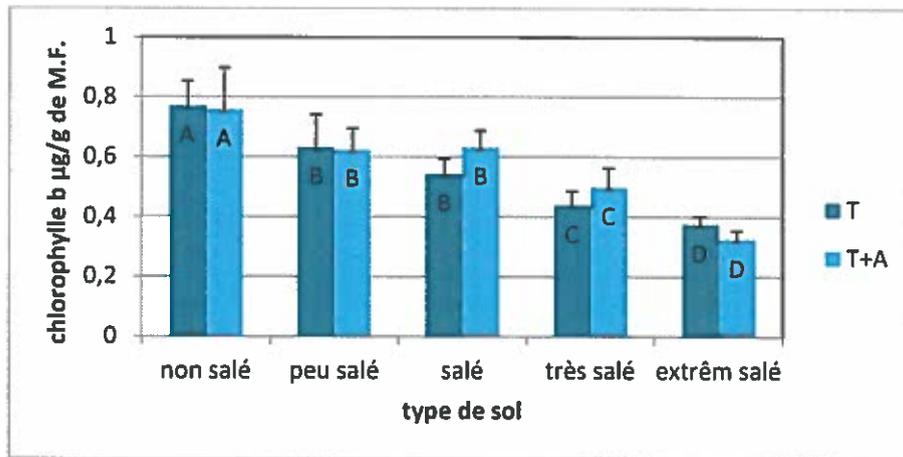


Figure 15. Effet de la salinité du sol sur la teneur en chlorophylle b des plantes de la tomate cultivées en intercalaire de l'*Atriplex halimus* L.

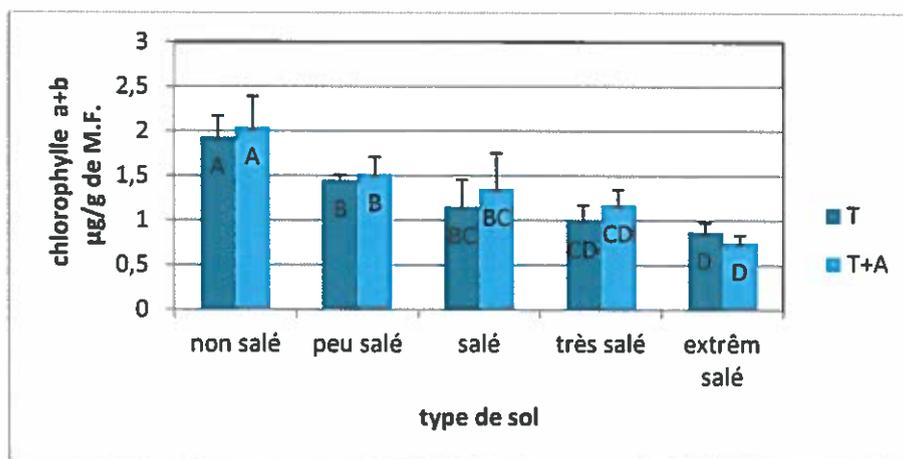


Figure 16. Effet de la salinité du sol sur la teneur en chlorophylle a+b des plantes de la tomate cultivées en intercalaire de l'*Atriplex halimus* L.

2.3. Teneur en proline

2.3.1. Teneur en proline des racines

Les résultats moyens présentés sur la figure (17) révèlent qu'en absence de conditions contraignantes (absence de salinité), les plantes accumulent des quantités de proline allant de 3,05 $\mu\text{g.g}^{-1}$ de MF à 04,39 $\mu\text{g.g}^{-1}$ de MF au niveau de leurs racines.

Le passage du lot témoin vers le lot traité permet de circonscrire ces valeurs entre 5,31 accumulée dans les racines des plants de la tomate cultivés sur sol peu salé et en présence de l'*Atriplex halimus* L. et 26,66 dans les racines des plantes cultivées sur sol extrêmement salé en absence de l'*Atriplex halimus* L.

Pour la même concentration des sels, la présence de l'*Atriplex halimus* L. en intercalaire des plantes de la tomate, affecte d'une manière remarquable leur physiologie de point de vue quantité de proline accumulée dans la partie souterraines de ces plantes.

Il est à remarquer que pour la même concentration de sels, la présence de l'*Atriplex halimus* L. réduit la quantité de proline accumulée.

En se basant sur l'analyse mentionnée dans le tableau (15), il s'établit que les variations enregistrées sont sous un double effet « salinité » ($P = 0,00$) et « *A halimus* L. » ($P = 0,00$). L'effet corrélé des deux facteurs d'étude permet à leur tour des variations hautement significatifs ($P = 0,008$).

Tableau 11: Effet de la salinité et de l'*A. halimus* sur la teneur en proline des parties racinaires des plantes de la tomate.

Niveau de salinité du sol	Teneur en proline des P.R. ($\mu\text{g.g}^{-1}$ de MF)	
	T	T+A
Non salé	4,39 \pm 1,07	3,05 \pm 0,32
Peu salé	7,26 \pm 0,75	5,31 \pm 0,76
salé	12,38 \pm 0,91	10,90 \pm 1,62
Très salé	18,42 \pm 0,88	15,69 \pm 0,57
Extrêmement salé	26,66 \pm 0,98	22,93 \pm 0,69

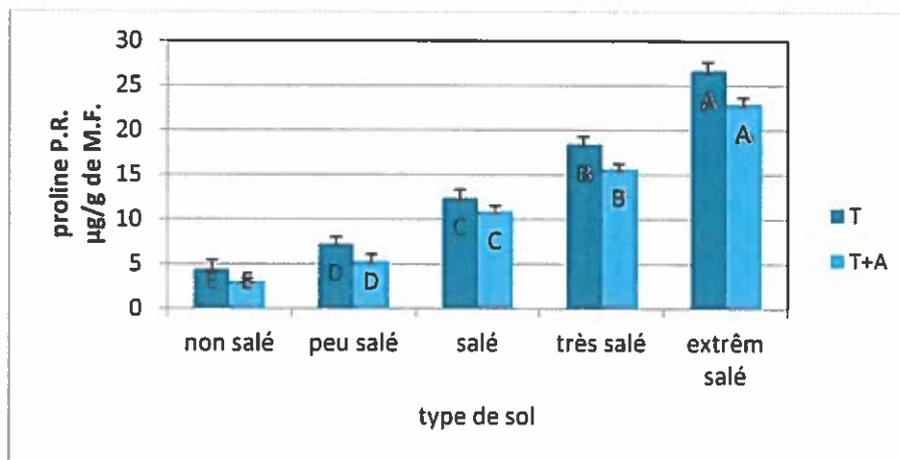


Figure 17. Effet de la salinité du sol sur la teneur en proline des parties souterraines des plantes de la tomate cultivées en intercalaire de l'*Atriplex halimus* L.

2.3.2. Teneur en proline des tiges

Les résultats moyens des taux de proline dans les feuilles et les tiges de *la tomate* (figure 18) montrent que, le taux de la proline des parties aériennes augmente significativement avec la concentration des sels dans le milieu de culture.

Pour la même concentration de sels au niveau du sol, la présence de l'*Atriplex halimus* L. diminue la concentration de proline au niveau des parties aériennes des plantes de la tomate.

L'analyse de la variance des taux d'accumulation de la proline (Tableau 15), permet de déceler des effets très hautement significatifs de l'ensemble des facteurs d'étude ($P = 0,00$), montrant ainsi que l'élaboration de ce paramètre est fortement régi par les changements des concentrations de sels dans les milieux de culture et même à la présence ou l'absence de l'*Atriplex halimus* L.

Tableau 12: Effet de la salinité et de l'*A. halimus* sur la teneur en proline des parties aériennes des plantes de la tomate.

Niveau de salinité du sol	Teneur en proline des P.A. ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ de MF)	
	T	T+A
Non salé	6,84±0,90	5,09±0,3
Peu salé	10,40±0,27	8,83±0,21
salé	15,56±0,26	14,23±0,15
Très salé	22,55±0,38	19,61±0,19
Extrêmement salé	31,36±0,69	27,41±0,21

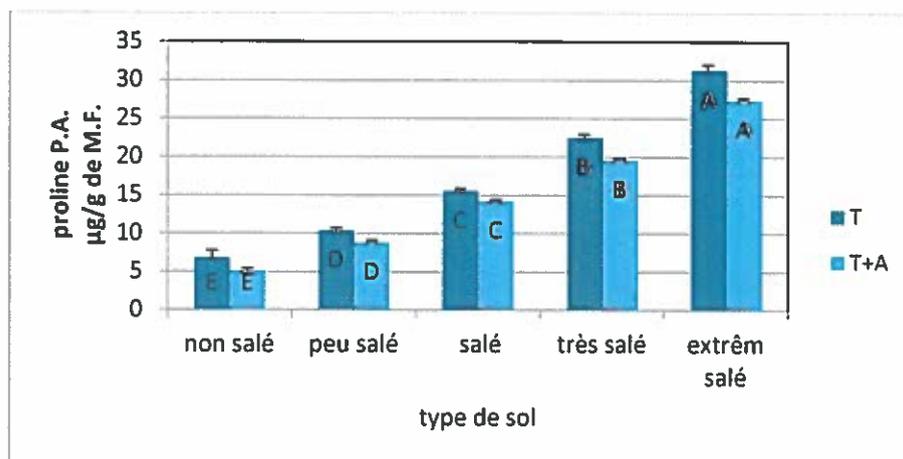


Figure 18. Effet de la salinité du sol sur la teneur en proline des parties aériennes des plantes de la tomate cultivées en intercalaire de l'*Atriplex halimus* L.

2.4. Teneur en Sucres solubles

2.4.1. Teneur en Sucres solubles des racines

Selon les résultats mentionnés dans la figure (19) il en résulte que la présence des sels dans le milieu de culture des plantes de la tomate induit une progression des teneurs en sucres solubles dans les racines de ces plantes.

Contrairement au sol non salé, peu salé et extrêmement salé, les plantes de la tomate cultivées en intercalaire de l'*Atriplex halimus* L. accumulent moins de sucres solubles au niveau de leurs racines par rapport à celles cultivées à son absence.

L'étude analytique des variations de ce paramètre (Tableau 15) met en exergue un effet très hautement significatif du facteur « salinité » ($P = 0,00$) et même de l'effet de l'interaction des deux facteurs d'étude ($P = 0,001$).

L'effet du facteur « *Atriplex halimus* L.» reste loin d'enregistrer les variations obtenues avec un effet non significatif ($P = 0,69$).

Tableau 13: Effet de la salinité et de l'*A. halimus* sur la teneur en sucres des parties racinaires

des plantes de la tomate.

Niveau de salinité du sol	Teneur en sucres des P.R. ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ de MF)	
	T	T+A
Non salé	10,86 \pm 1,42	13,52 \pm 0,53
Peu salé	14,82 \pm 0,439	15,17 \pm 0,28
salé	17,50 \pm 0,86	15,84 \pm 0,75
Très salé	23,49 \pm 1,36	20,15 \pm 0,25
Extrêmement salé	32,26 \pm 2,32	33,42 \pm 1,39

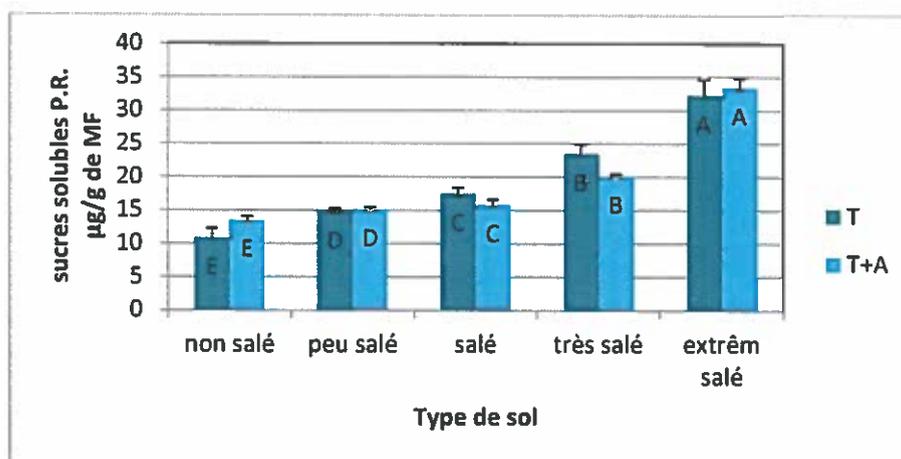


Figure 19. Effet de la salinité du sol sur la teneur en sucres solubles des parties souterraines des plantes de la tomate cultivées en intercalaire de l'*Atriplex halimus* L.

2.4.2. Teneur en Sucres solubles des parties aériennes

Les résultats moyens des taux des sucres solubles dans les feuilles et les tiges de la tomate (figure 20) montrent que, le taux des sucres dans les parties aériennes augmente avec l'augmentation de la concentration des sels dans le milieu de culture de ces plantes.

La comparaison des moyens des deux lots de culture (T, T+A) révèle une supériorité des taux de sucres au niveau des parties aériennes des plantes de la tomate cultivées seule par rapport à celles cultivées en association de l'*Atriplex halimus* L. cette supériorité est enregistré pour tous les niveaux de salinité sauf pour le sol extrêmement salé.

L'analyse de la variance de ce paramètre (Tableau 15) indique que son extériorisation est sous l'étroite dépendance du facteur « salinité» ($P = 0,00$) Tandis que l'effet «*Atriplex halimus* L. » s'avère moins important avec un effet non significatif ($P =$

0,07). Quant à l'effet d'interaction «salinité- *Atriplex halimus* L. », elle prouve son intérêt en enregistrant un effet très hautement significatif ($P = 0,001$).

Tableau 14: Effet de la salinité et de l'*A. halimus* sur la teneur en sucres des parties aériennes des plantes de la tomate.

Niveau de salinité du sol	Teneur en sucres P.A. ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ de MF)	
	T	T+A
Non salé	20,49±1,35	24,88±1,18
Peu salé	32,50±2,17	26,98±1,71
salé	40,06±2,67	31,1±2,35
Très salé	55,8±3,05	53,45±2,14
Extrêmement salé	74,07±2,70	77,44±5,18

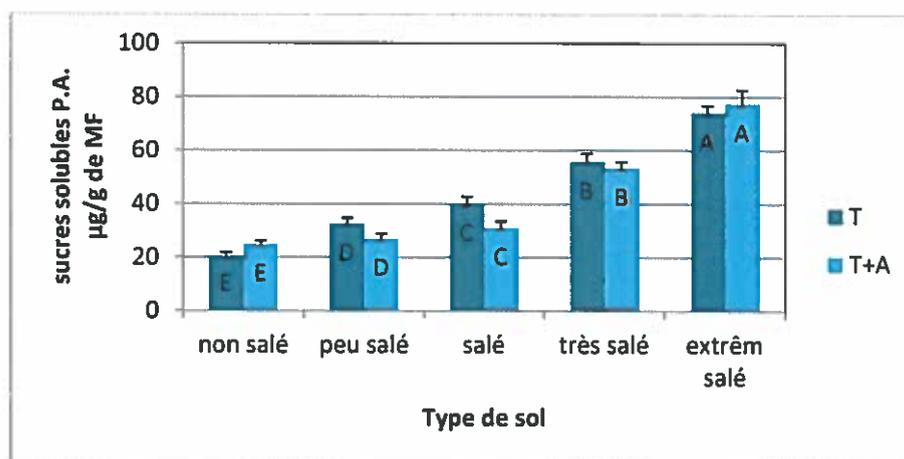


Figure 20. Effet de la salinité du sol sur la teneur en sucres solubles des parties aériennes des plantes de la tomate cultivées en intercalaire de l'*Atriplex halimus* L.

Tableau 15 : Analyses ANOVA des paramètres physiologiques.

Source de variation	Paramètres étudiés							
	RWC	Chl A	Chl B	Chl A+B	Proline P.R.	Proline P.A.	Sucres P.R.	Sucres P.A.
Facteur salinité (F1)	0,00067 ***	0,00028 ***	0,000 ***	0,000 ***	0,000 ***	0,000 ***	0,000 ***	0,000 ***
Facteur Atriplex (F2)	0,19244 ns	0,47298 ns	0,4642 ns	0,35738 ns	0,000 ***	0,000 ***	0,69745 ns	0,07523 ns
Interaction F1 vs F2	0,7344 ns	0,9667 ns	0,2427 ns	0,8388ns	0,008 **	0,000 ***	0,001 ***	0,001 ***

(ns: non significatif ; * : significatif ; *** : très hautement significatif).

3. Paramètres chimiques

3.1. Teneur en sodium

3.1.1. Teneur en sodium des racines

Les résultats moyens sur le paramètre Teneurs en Na⁺ des parties souterraines (figure 21) montrent que sous l'effet de la contrainte saline, la teneur moyenne en Na⁺ des racines augmente significativement avec l'intensité du stress salin pour les deux lots (T, T+A).

La présence de l'*Atriplex halimus* L. en association avec la tomate conduit à une diminution des teneurs en Na⁺ accumulé au niveau des racines de la tomate.

L'analyse de la variance des taux d'accumulation de Na⁺ (Tableau 22), permet de déceler des effets très hautement significatifs de l'ensemble des facteurs d'étude (P = 0,00).

Tableau 16: Effet de la salinité et de l'*A. halimus* sur la teneur en sodium des parties racinaires des plantes de la tomate.

Niveau de salinité du sol	Teneur en sodium des P.R. (mg/100g de M.S.)	
	T	T+A
Non salé	2,63±0,40	2,62±0,31
Peu salé	4,22±0,21	4,04±0,52
salé	5,43±0,36	5,49±0,34
Très salé	6,70±0,30	5,45±0,36
Extrêmement salé	7,45±0,34	6,31±0,23

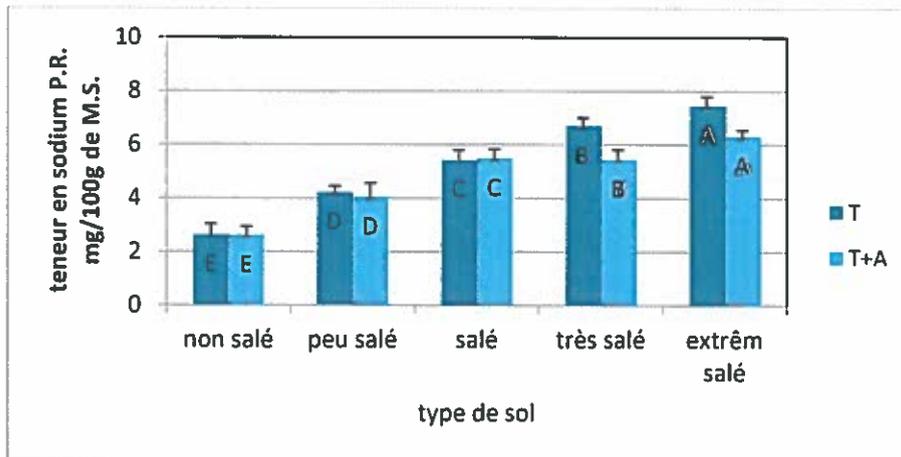


Figure 21. Effet de la salinité du sol sur la teneur en sodium racinaire des plantes de la tomate cultivées en intercalaire de l'*Atriplex halimus* L.

3.1.2. Teneur en sodium des parties aériennes

Les résultats moyens (figure 22) révèlent qu'en absence de stress salin, les plantes de la tomate accumulent des quantités de Na^+ allant de 4,87 mg/100g de M.S. enregistrées dans la partie aérienne des plantes de la tomate cultivées en intercalaire de l'*Atriplex halimus* L. à 5,16 mg/100g de M.S. Enregistrées chez les plantes de la tomate cultivées seule.

En présence de la contrainte saline les teneurs en Na^+ des parties aériennes sont dans l'intervalle délimité entre 5,94 mg/100g de M.S. pour le sol peu salé et 12,20 mg/100g de M.S. pour le sol extrêmement salé.

Plus la concentration de sels dans le milieu de culture des plantes de la tomate augmente plus les teneurs en Na^+ des parties aériennes deviennent plus importantes.

À l'exception du sol extrêmement salé, la présence de l'*Atriplex halimus* L. entraîne une diminution significative dans le taux de Na^+ aérien en présence de différentes concentrations en sel comparé au lot de la tomate cultivée seule.

L'analyse statistique des valeurs obtenues (tableau 22) montre que de telles variations sont largement conditionnées par le facteur « salinité » ($p=0,00$) et aussi le facteur « *Atriplex halimus* L. » ($p=0,00$).

On marque un effet très hautement significatif ($p=0,00$) de l'interaction des deux facteurs d'étude.

Tableau 17: Effet de la salinité et de l'*A. halimus* sur la teneur en sodium des parties aériennes des plantes de la tomate.

Niveau de salinité du sol	Teneur en sodium des P.A. (mg/100g de M.S.)	
	T	T+A
Non salé	5,16±0,59	4,87±0,56
Peu salé	6,8±0,75	5,94±0,37
salé	8,80±0,34	6,77±0,48
Très salé	10,53±0,55	8,49±0,51
Extrêmement salé	11,58±0,47	12,20±0,40

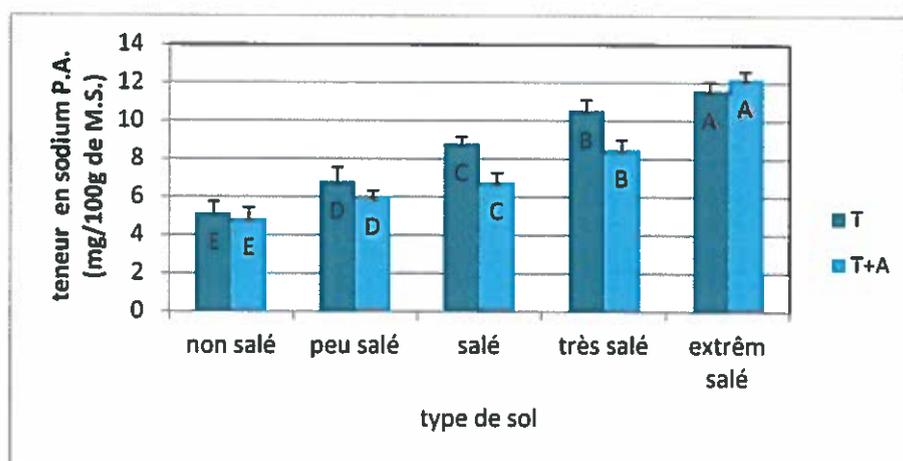


Figure 22. Effet de la salinité du sol sur la teneur en sodium aérien des plantes de la tomate cultivées en intercalaire de l'*Atriplex halimus* L.

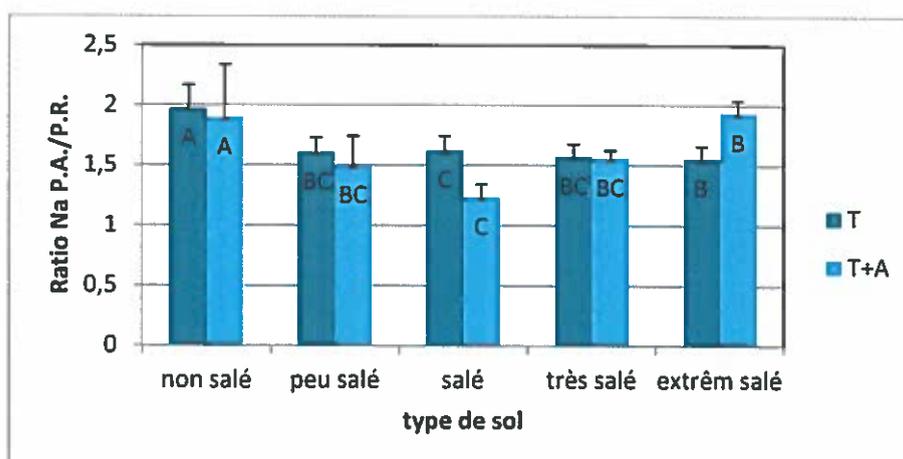


Figure 23. Effet de la salinité du sol sur le Ratio Na⁺ P.A. /P.R. des plantes de la tomate cultivées en intercalaire de l'*Atriplex halimus* L.

3.2. Teneur en potassium

3.2.1. Teneur en potassium des racines

Selon la figure 24, les résultats obtenus pour le potassium au niveau des plantes témoins varient entre 24,35mg/100g de M.S. et 23,41 mg/100g de M.S. avec une différence importante de la teneur en potassium entre les plantes non stressées et celles soumises au stress salin.

Quant aux teneurs moyennes dans le lot de la tomate intercalée par l'*Atriplex halimus* L., les grandeurs trouvées sont légèrement supérieures à celles des plantes cultivées seules. Ces résultats sont enregistrés pour tous les niveaux de salinité sauf pour le sol extrêmement salé.

L'étude analytique des variations de ce paramètre (Tableau 22) met en exergue un effet très hautement significatif du facteur « salinité » ($P = 0,00$) et même du facteur «*Atriplex halimus* L. » ($P = 0,002$).

L'effet d'interaction, «salinité - *Atriplex halimus* L. » reste loin d'enregistrer les variations obtenues ($P = 0,12$).

Tableau 18: Effet de la salinité et de l'*A. halimus* sur la teneur en potassium des parties racinaires des plantes de la tomate.

Niveau de salinité du sol	Teneur en potassium des P.R. (mg/100g de M.S.)	
	T	T+A
Non salé	23,41±0,95	24,35±1,43
Peu salé	20,80±0,62	21,65±0,57
salé	18,97±0,8	19,47±0,50
Très salé	17,86±0,97	18,39±0,55
Extrêmement salé	16,45±0,47	16,15±0,75

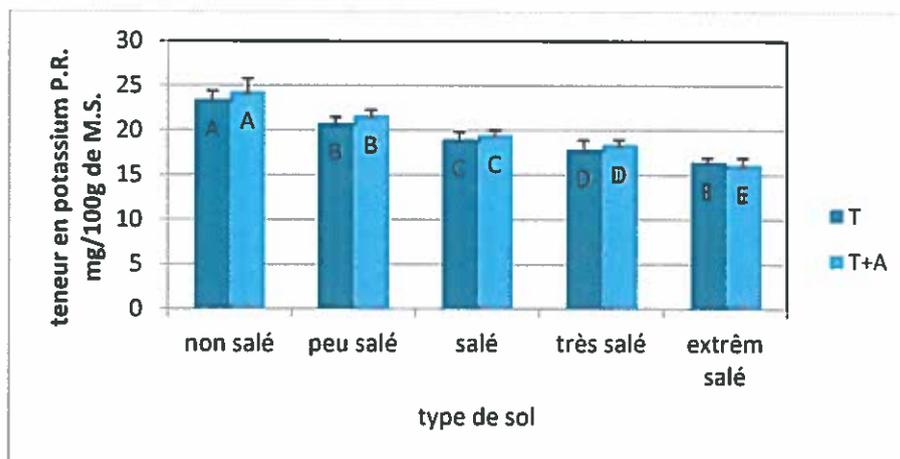


Figure 24. Effet de la salinité du sol sur la teneur en potassium racinaire des plantes de la tomate cultivées en intercalaire de l'*Atriplex halimus* L.

3.2.2. Teneur en potassium des parties aériennes

A la lumière de la figure 25, il s'établit que les teneurs en K^+ des tiges et feuilles sont visiblement important dans l'ensemble des plantes témoin avec un maximum de 35,57 mg/100g de M.S.

L'exposition des plantes à des concentrations élevées des sels diminue ces valeurs à un minimum de 16,47 mg/100 g de M.S. de K^+ accumulé dans les parties aériennes des plantes de la tomate cultivées en intercalaire de l'*Atriplex halimus* L.

L'étude analytique des variations de ce paramètre (Tableau 22), indique que son élaboration est fortement régie par le facteur « NaCl » avec un effet très hautement significatif ($P = 0,00$).

Alors que le facteur d'étude «*Atriplex halimus* L.» reste loin de conditionner les variations obtenus.

L'interaction des deux facteurs d'étude à un effet significatif ($p=0,04$).

Tableau 19: Effet de la salinité et de l'*A. halimus* sur la teneur en potassium des parties aériennes des plantes de la tomate.

Niveau de salinité du sol	Teneur en potassium P.A. (mg/100g de M.S.)	
	T	T+A
Non salé	33,89±1,77	35,57±2,65
Peu salé	28,05±2,18	32,75±3,43
salé	26,05±4,23	26,94±1,32
Très salé	21,09±1,35	24,29±2,55
Extrêmement salé	21,79±7,57	16,47±1,85

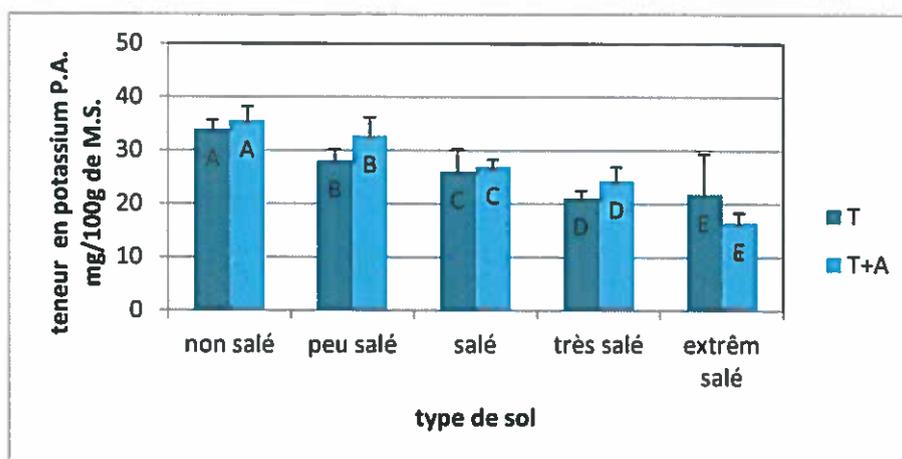


Figure 25. Effet de la salinité du sol sur la teneur en potassium aérien des plantes de la tomate cultivées en intercalaire de l'*Atriplex halimus* L.

3.3. Teneur en calcium

3.3.1. Teneur en calcium des racines

Les résultats mentionnés sur la figure 26, montrent que les teneurs en calcium de la tomate diminuent significativement avec l'augmentation de la salinité du sol.

Les deux lots (T, T+A) ont répondu de la même manière à la présence des sels. Cependant, les plantes de la tomate cultivées en intercalaire de l'*Atriplex halimus* L. ont tendance à accumuler des taux plus élevés de calcium par rapport à celles cultivées seule.

L'étude analytique des variations de ce paramètre (Tableau 22), indique un effet très hautement significatif du facteur « salinité » ($p=0,00$), du facteur « *Atriplex halimus* L.» ($p=0,00$) et même de l'interaction des deux facteurs d'étude ($p=0,00$).

Tableau 20: Effet de la salinité et de l'*A. halimus* sur la teneur en calcium des parties racinaires des plantes de la tomate.

Niveau de salinité du sol	Teneur en calcium des P.R. (mg/100g de M.S.)	
	T	T+A
Non salé	31,86±0,45	30,91±0,85
Peu salé	27,64±1,81	30,65±0,98
salé	19,89±0,59	21,96±1,45
Très salé	16,07±0,72	19,70±1,45
Extrêmement salé	12,13±0,96	11,37±1,11

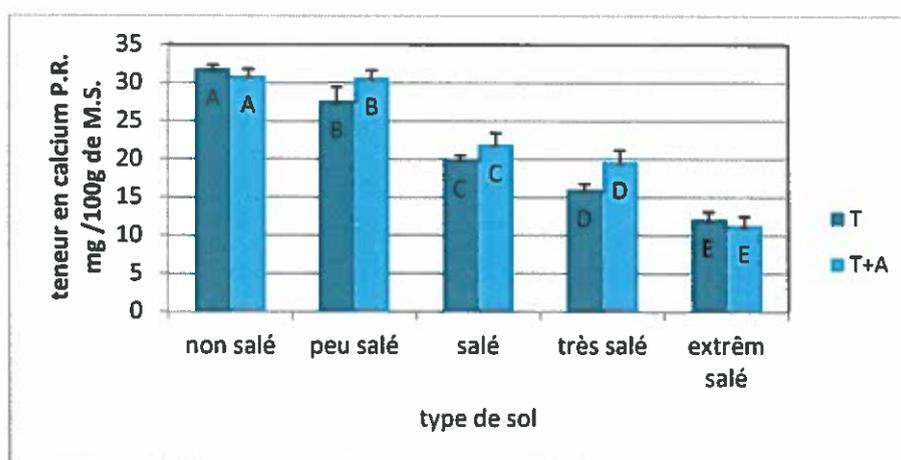


Figure 26. Effet de la salinité du sol sur la teneur en calcium racinaire des plantes de la tomate cultivées en intercalaire de l'*Atriplex halimus* L.

3.3.2. Teneur en calcium des parties aériennes

La lecture préliminaire des résultats moyens (figure 27) montre qu'en absence de de la contrainte saline, les teneurs en Ca^{++} accumulé au niveau des feuilles et tiges des plants de la tomate oscillent entre 35,20 mg/100 g de M.S. et 35,57 mg/100 g de M.S.

Quant aux plantes de la tomate exposées aux sels, nous avons enregistré des valeurs allant de 16,46 mg/100 g de M.S. jusqu'à 31,4 mg/100 g de M.S. en absence de l'*Atriplex halimus* L. et de 20,54 mg/100 g de M.S. jusqu'à 35,69 mg/100 g de M.S. en présence de l'*Atriplex halimus* L. On remarque qu'en présence de la même concentration de sels, la présence de l'*Atriplex halimus* L. en intercalaire de la tomate peut augmenter la quantité de Ca^{++} accumulé au niveau des parties aériennes de cette dernière.

L'analyse de la variance des taux d'accumulation de Ca^{++} (Tableau 22), permet de

déceler des effets très hautement significatifs de l'ensemble des facteurs d'étude ($P = 0,00$).

Tableau 21: Effet de la salinité et de l'*A. halimus* sur la teneur en calcium des parties aériennes des plantes de la tomate.

Niveau de salinité du sol	Teneur en calcium des P.A. (mg/100g de M.S.)	
	T	T+A
Non salé	35,57±0,71	35,20±1,04
Peu salé	31,4±1,49	35,69±1,09
salé	23,89±1,08	26,69±0,50
Très salé	22,6±2,10	24,08±0,95
Extrêmement salé	16,46±2,52	20,54±0,62

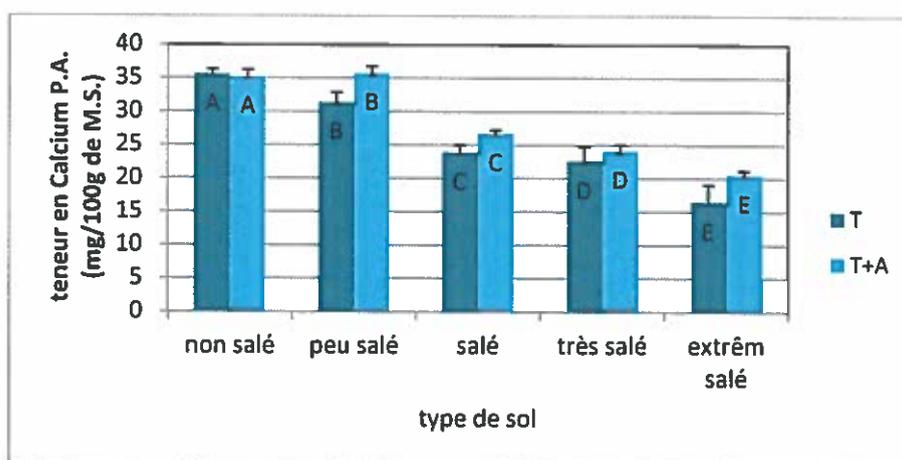


Figure 27. Effet de la salinité du sol sur la teneur en calcium aérien des plantes de la tomate cultivées en intercalaire de l'*Atriplex halimus* L.

Tableau 22 : Analyses ANOVA des paramètres chimiques.

Source de variation	paramètres					
	Na ⁺ P.R.	Na ⁺ P.A.	K ⁺ P.R.	K ⁺ P.A.	Ca ²⁺ P.R.	Ca ²⁺ P.A.
Facteur salinité (F1)	0,000***	0,000***	0,000***	0,000***	0,000***	0,000***
Facteur Atriplex (F2)	0,000***	0,000***	0,00284***	0,33913ns	0,0001***	0,000***
Interaction F1 vs F2	0,000***	0,000***	0,12053ns	0,04876*	0,000ns	0,002***

(ns: non significatif ; * : significatif ; *** : très hautement significatif).

4. Paramètres du système antioxydant

4.1. Teneur en peroxydase

4.1.1. Teneur en peroxydase des racines

Le résultat présenté sur la figure (28) montre l'effet de la salinité et de la présence de l'*Atriplex halimus* L. sur les teneurs en peroxydase des parties racinaires de la tomate.

Pour la tomate cultivée seule, les quantités de peroxydase évoluent sous l'influence de toutes les concentrations salines à l'exception de sol extrêmement salé dont nous enregistrons des valeurs très basse inférieure à celles enregistrées pour le sol témoin.

Quant aux plantes de la tomate intercalées par l'*Atriplex halimus* L. nous remarquons que le sol salé stimule la synthèse de la plus grande quantité de peroxydase par rapport aux autres niveaux de salinité. Tandis que pour le sol extrêmement salé les teneurs enregistrées de cet élément sont les plus basses.

Selon ces résultats les plantes de la tomate ont tendance à accumuler plus de peroxydase dans leurs systèmes racinaires quand elles sont cultivées en absence de l'*Atriplex halimus* L.

L'analyse de la variance de ce paramètre (Tableau 29) indique que son extériorisation est sous l'étroite dépendance de facteur « salinité » avec un effet très hautement significatif ($P = 0,00$) et du facteur «*Atriplex halimus* L. » avec un effet significatif ($p=0,02$).

Tableau 23: Effet de la salinité et de l'*A. halimus* sur la teneur en peroxydase des parties racinaires des plantes de la tomate.

Niveau de salinité du sol	Teneur en peroxydases des P.R. (Δ DO470/mg protéine)	
	T	T+A
Non salé	0,167±0,019	0,23±0,023
Peu salé	0,32±0,02	0,277±0,025
salé	0,383±0,04	0,33±0,013
Très salé	0,413±0,031	0,267±0,031
Extrêmement salé	0,073±0,006	0,063±0,006

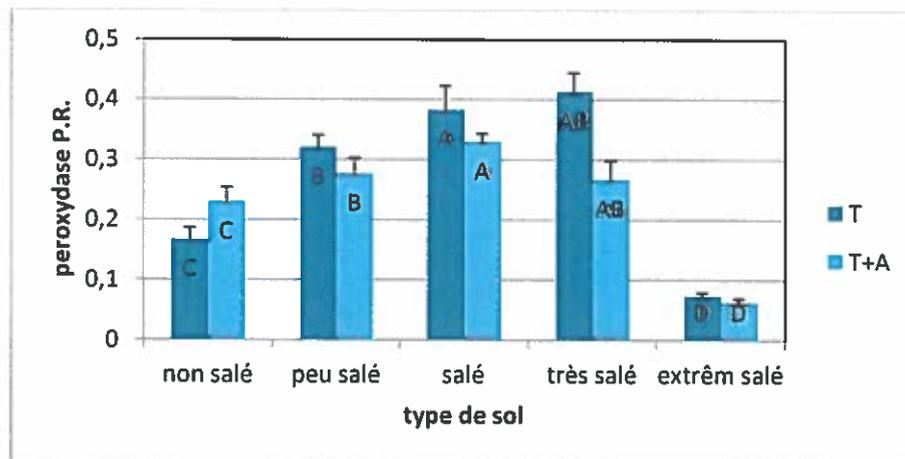


Figure 28. Effet de la salinité du sol sur la teneur en peroxydase des parties racinaires des plantes de la tomate cultivées en intercalaire de l'*Atriplex halimus* L.

4.1.2. Teneur en peroxydase des parties aériennes

La figure (29) présente l'évolution des teneurs en peroxydase au niveau des tiges et des feuilles de la tomate conduite sous la contrainte saline intercalée ou non de l'*Atriplex halimus* L.

Les deux lots de la tomate (T, T+A) réagissent de la même façon à la présence de sel, présentant une réaction significative à la hausse de la teneur en peroxydase avec l'accroissement de la salinité du sol.

A l'exception de sol extrêmement salé, la tomate accumule des taux de peroxydase important en absence de l'*Atriplex halimus* L. qu'à son présence pour tous les niveaux de salinité du sol.

L'analyse de la variance de la peroxydase des parties aériennes (tableau 29) montre un effet très hautement significatif du facteur « salinité » ($p=0,00$) et un effet significatif du facteur «*Atriplex halimus* L » ($p=0,03$) et de l'interaction des deux facteurs ($p=0,02$).

Tableau 24: Effet de la salinité et de l'*A. halimus* sur la teneur en peroxydase des parties aériennes des plantes de la tomate.

Niveau de salinité du sol	Peroxydase des P.A. (Δ DO470/mg protéine)	
	T	T+A
Non salé	0,044±0,004	0,04±0,002
Peu salé	0,081±0,004	0,065±0,005
salé	0,113±0,024	0,074±0,004
Très salé	0,137±0,01	0,13±0,02
Extrêmement salé	0,06±0,01	0,075±0,005

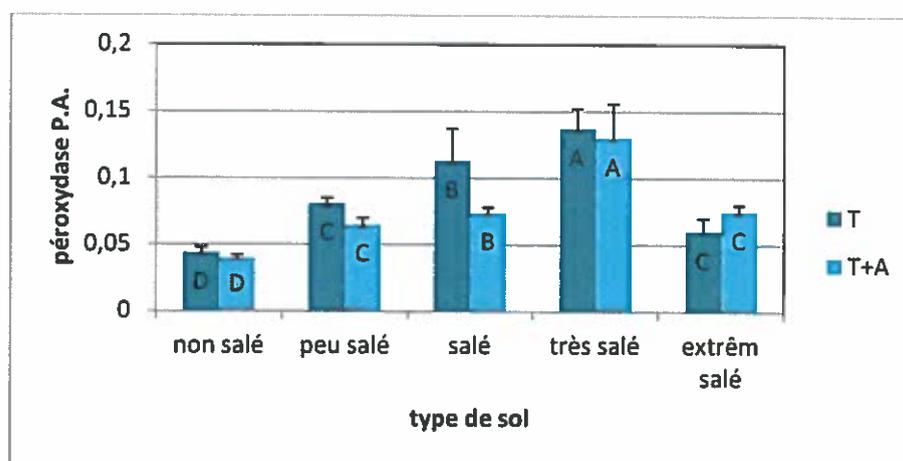


Figure 29. Effet de la salinité du sol sur la teneur en peroxydase des parties aériennes des plantes de la tomate cultivées en intercalaire de l'*Atriplex halimus* L.

4.2. Teneur en catalase

4.2.1. Teneur en catalase des racines

Les observations sur la teneur en catalase des parties racinaires des deux lots de la tomate (T, T+A) mentionnées sur la figure 30 expriment une réponse significative de ces plantes à la présence de sels dans leurs milieux de culture.

Selon ces résultats le sol salé stimule la synthèse des quantités maximales de catalase avec des valeurs de 3,71 pour le lot T+A et de 4,34 pour le lot T.

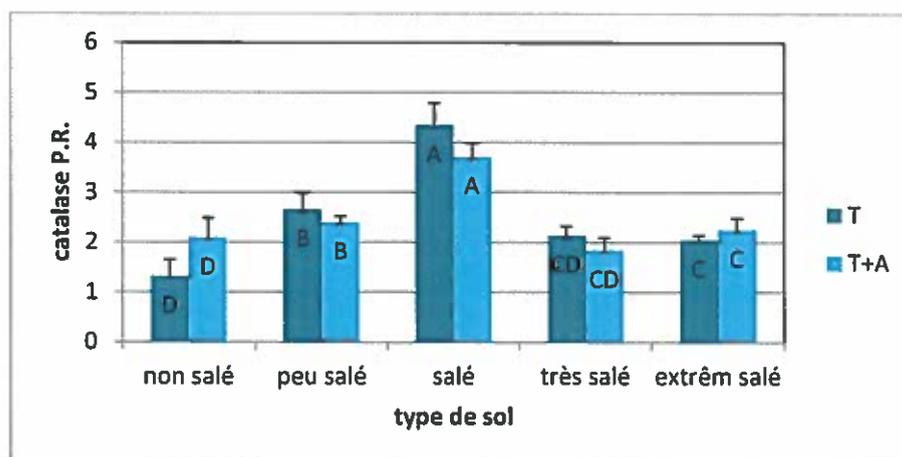
Selon l'analyse de la variance mentionnée sur le tableau 29, nous constatons un effet très hautement significatif du facteur « salinité » ($p=0,00$) en revanche l'effet du facteur « *Atriplex halimus* L. » est non significatif.

L'interaction des deux facteurs d'étude montre aussi un effet très hautement significatif

(p=0,003)

Tableau 25: Effet de la salinité et de l'*A. halimus* sur la teneur en catalase des parties racinaires des plantes de la tomate.

Niveau de salinité du sol	Teneur en catalase des P.R. (Δ DO240/mg protéine)	
	T	T+A
Non salé	1,32±0,33	2,09±0,38
Peu salé	2,66±0,32	2,40±0,12
salé	4,34±0,44	3,71±0,27
Très salé	2,14±0,18	1,84±0,24
Extrêmement salé	2,05±0,08	2,25±0,22

**Figure 30.** Effet de la salinité du sol sur la teneur en catalase des parties racinaires des plantes de la tomate cultivées en intercalaire de l'*Atriplex halimus* L.

4.2.2. Teneur en Catalase des parties aériennes

Les mesures de la catalase sont faites sur des plantes de la tomate cultivées sur des sols salés naturellement. La figure (31) montre que les teneurs en catalase des parties aériennes des deux lots de culture (T, T+A) augmentent significativement avec l'intensité de stress salin pour les trois types de sol, salé, très salé et extrêmement salé. Les plus basses quantités de catalase racinaire sont observées chez les plantes de la tomate cultivées sur sol peu salé avec des valeurs allant de 0,71 enregistrée chez la tomate associée à l'*Atriplex halimus* L. à 0,80 marquée chez celle cultivée seule.

Comparant les deux lots de culture T et T+A nous remarquons que les quantités de catalase synthétisées au niveau des parties aériennes de la tomate conduite en absence de

Atriplex halimus L. sont plus importantes que celles de la tomate intercalée par *Atriplex halimus* L.

L'analyse de la variance présente un effet très hautement significatif de l'ensemble des facteurs d'étude.

Tableau 26: Effet de la salinité et de *A. halimus* sur la teneur en catalase des parties aériennes des plantes de la tomate.

Niveau de salinité du sol	Teneur en catalase des P.A. (Δ DO240/mg protéine)	
	T	T+A
Non salé	1,1 \pm 0,10	0,90 \pm 0,07
Peu salé	0,8 \pm 0,12	0,71 \pm 0,03
salé	1,63 \pm 0,08	1,61 \pm 0,05
Très salé	2,01 \pm 0,04	1,81 \pm 0,05
Extrêmement salé	2,28 \pm 0,04	1,94 \pm 0,06

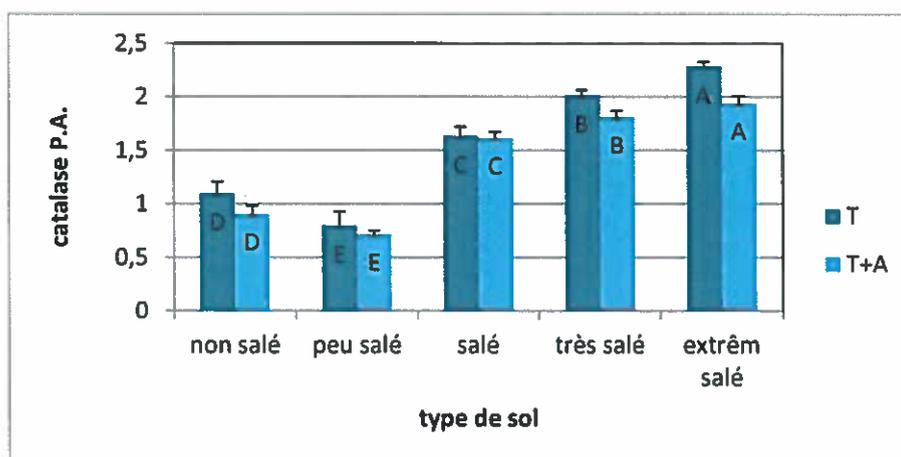


Figure 31. Effet de la salinité du sol sur la teneur en catalase des parties aériennes des plantes de la tomate cultivées en intercalaire de *Atriplex halimus* L.

4.3. Teneur en flavonoïdes

Sous l'effet de la contrainte saline, la teneur moyenne en flavonoïdes des feuilles de la tomate augmente significativement avec l'intensité du stress salin pour les deux lots de culture T, T+A (figure 32). Les plus basses quantités sont enregistrées chez les plantes témoins cultivées sur sol non salé avec des valeurs de 1,14 mg/g de M.S. pour le lot T+A et 1,18 mg/g de M.S. pour le lot T.

Pour tous les niveaux de salinité à l'exception du sol peu salé, les plantes de la tomate accumulent plus de flavonoïdes lorsqu'elles sont cultivées en absence de *A. halimus* L.

En se basant sur l'analyse mentionnée dans le tableau 29, il s'est établi que les variations des teneurs en flavonoïdes sont sous l'effet du facteur salinité avec un effet significatif ($p=0,01$). En revanche le facteur « *Atriplex halimus* L. » et l'interaction des deux facteurs n'ont aucun effet sur ce paramètre.

Tableau 27: Effet de la salinité et de l'*A. halimus* sur la teneur en flavonoïdes des plantes de la tomate.

Niveau de salinité du sol	Teneur en flavonoïdes (mg/g de M.S)	
	T	T+A
Non salé	1,18±0,45	1,14±0,10
Peu salé	2,27±0,30	2,45±0,51
salé	2,74±0,09	2,57±0,64
Très salé	3,23±0,97	3,02±0,62
Extrêmement salé	3,95±0,62	3,56±0,51

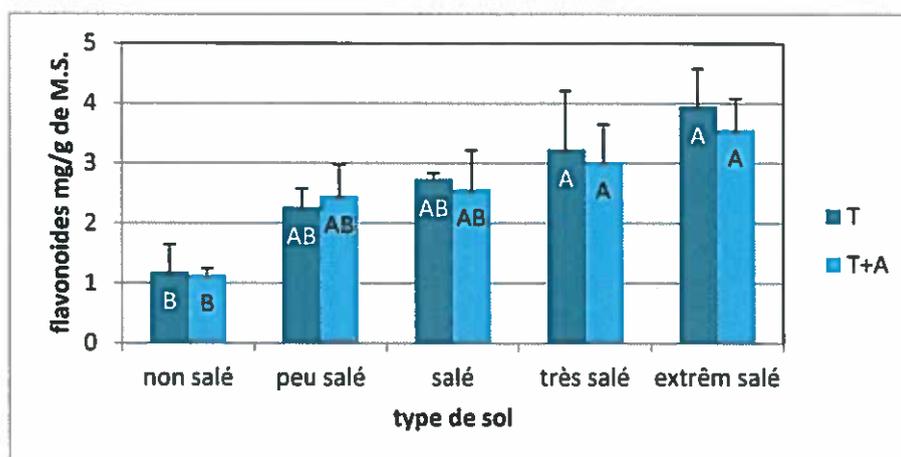


Figure 32. Effet de la salinité du sol sur la teneur en flavonoïdes des plantes de la tomate cultivées en intercalaire de l'*Atriplex halimus* L.

4.4. Teneur en phénols totaux

La cinétique de synthèse des phénols totaux présentés sur la figure 33, montre que les teneurs en phénol totaux accumulées par les plantes de la tomate cultivées sous stress salin augmentent au fur et à mesure que la concentration des sels dans le milieu de culture de ces plantes augmente.

Les deux lots de culture T, T+A, réagissent de la même façon à la présence des sels. Alors que pour le même type de sol nous remarquons une très légère supériorité des taux de phénols synthétisés par la tomate cultivée en absence de l'*Atriplex halimus* L. par rapport à celle

cultivée à sa présence.

L'analyse de la variance (tableau 29) présente un effet hautement significatif du facteur salinité ($p=0,008$) tandis que le facteur *Atriplex halimus* L. et l'interaction des deux facteurs « salinité- *Atriplex halimus* L. » montrent un effet non significatif.

Tableau 28: Effet de la salinité et de l'*A. halimus* sur la teneur en phénols totaux des plantes de la tomate.

Niveau de salinité du sol	Teneur en phénols totaux (mg/g de M.S)	
	T	T+A
Non salé	21,26±1,59	21,81±1,82
Peu salé	23,40±2,01	23,21±0,35
salé	23,70±1,58	23,58±1,06
Très salé	24,39±1,07	24,19±0,77
Extrêmement salé	24,56±1,43	24,46±0,86

Tableau 29 : Analyses ANOVA des paramètres du système antioxydant.

Source de variation	paramètres					
	TFC P.A.	TPC P.A.	POD P.A	POD P.R	CAT P.A.	CAT P.R.
Facteur salinité	0,0183*	0,00896**	0,000***	0,000***	0,000***	0,000***
Facteur <i>Atriplex</i>	0,77852ns	0,98043ns	0,03955*	0,02006*	0,00001***	0,67763ns
Interaction F1 vs F2	0,99ns	0,98368ns	0,02875*	0,003***	0,0128*	0,003***

(ns: non significatif ; * : significatif ; *** : très hautement significatif).

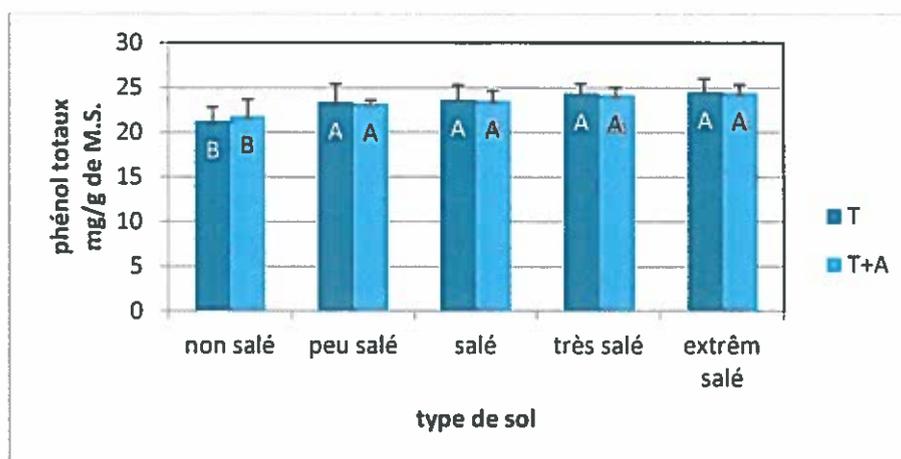


Figure 33. Effet de la salinité du sol sur la teneur en phénol totaux des plantes de la tomate cultivées en intercalaire de l'*Atriplex halimus* L.

II. Effet de la salinité sur l'*Atriplex halimus* L.

1. Paramètres biométriques

1.1. Longueur de la tige

Les résultats regroupés dans la figure (34) montrent une augmentation de la longueur des tiges stimulée par l'augmentation de la salinité de substrat de culture.

A regarder plus près, le sol peu salé et très salé sont des stimulants pour une meilleure croissance en longueur de la tige de l'*Atriplex halimus* L.

L'analyse de la variance (tableau 33) montre un effet non significatif du facteur salinité.

Tableau 30: Effet de la salinité sur la longueur de la tige des plantes de l'*A. halimus*.

Paramètre étudié	Niveau de salinité du sol				
	Non salé	Peu salé	salé	Très salé	Extrêmement salé
Longueur de la tige (cm)	86,6±19,02	98,6±9,26	90,2±6,68	101±16,53	90,6±6,38

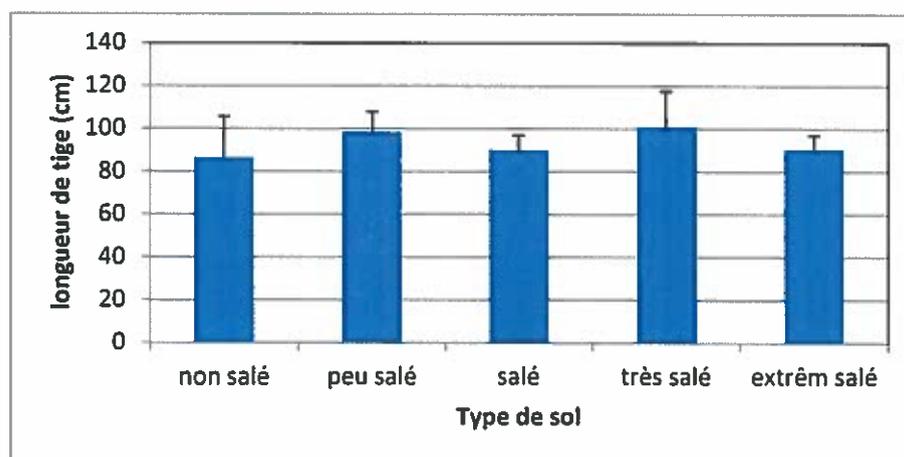


Figure 34. Effet de la salinité du sol sur la longueur des tiges des plantes de l'*Atriplex halimus* L.

1.2. Nombre des feuilles par plante

A la lumière des résultats obtenus et présentés sur la figure 35, l'application du stress salin semble avoir des réponses remarquables en termes de nombre des feuilles de l'*Atriplex halimus* L.

Cette halophile a répondu négativement au gradient de la salinité, le seuil le plus favorable est enregistré chez les plantes témoins cultivées sur sol non salé.

Le nombre des feuilles de l'*Atriplex halimus* L. diminue au fur et à mesure que le gradient de la salinité s'accroît.

L'étude statistique (tableau 33) montre qu'il existe un effet très hautement significatif « $P=0,00$ » du facteur salinité sur le nombre des feuilles de l'*Atriplex halimus* L.

Tableau 31: Effet de la salinité sur le nombre des feuilles des plantes de l'*A. halimus*.

Paramètre étudié	Niveau de salinité du sol				
	Non salé	Peu salé	salé	Très salé	Extrêmement salé
Nbr des feuilles	496,6±9,42	444±9,05	428,45±4,22	392±5,87	326,6±10,92

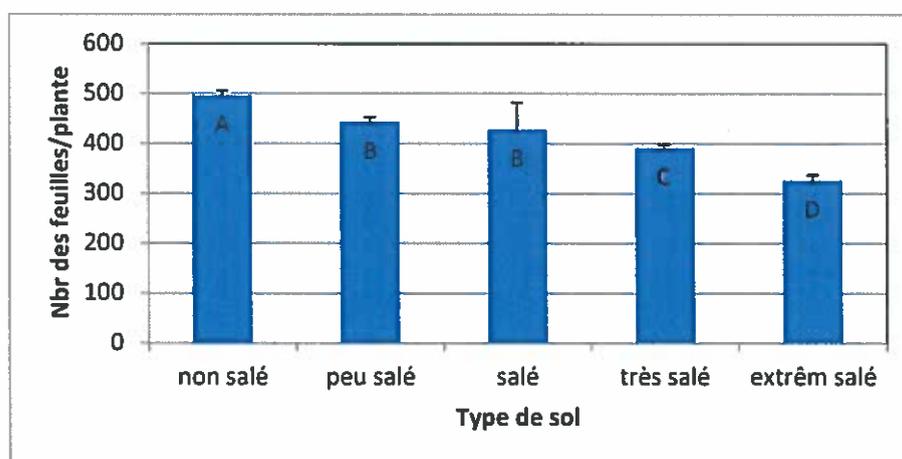


Figure 35. Effet de la salinité du sol sur le nombre des feuilles des plantes de l'*Atriplex halimus* L.

1.3.Surface foliaire

Le résultat de la variation de la surface foliaire des plantes de l'*Atriplex halimus* L. en fonction des doses de sels existants dans le substrat de culture est illustré sur la figure 36.

Ces résultats montrent une réaction significative à la hausse de la surface foliaire avec l'augmentation de la salinité de milieu de culture.

Les valeurs de la surface foliaire sont dans l'intervalle délimité entre 14,35 cm² enregistré chez les plantes de l'*Atriplex halimus* L. cultivées sur sol témoin et 29,91 cm² enregistré chez celles cultivées sur sol extrêmement salé.

L'analyse de la variance de la surface foliaire (Tableau 33), permet de déceler un effet très hautement significatifs du facteur salinité du sol « $p=0,001$ » sur l'expression de ce

paramètre.

Tableau 32: Effet de la salinité sur la Surface foliaire des plantes de l'*A. halimus*.

Paramètre étudié	Niveau de salinité du sol				
	Non salé	Peu salé	salé	Très salé	Extrêmement salé
Surface foliaire (cm ²)	14,35±2,52	17,21±1,09	22,06±3,82	27,93±3,69	29,91±2,37

Tableau 33 : Analyses ANOVA des paramètres biométriques.

Source de variation	Paramètres étudiés		
	Longueur de tige	Nombre des feuilles/plante	Surface foliaire
Facteur salinité	0,36ns	0,000***	0,001***

(ns: non significatif ; * : significatif ; *** : très hautement significatif).

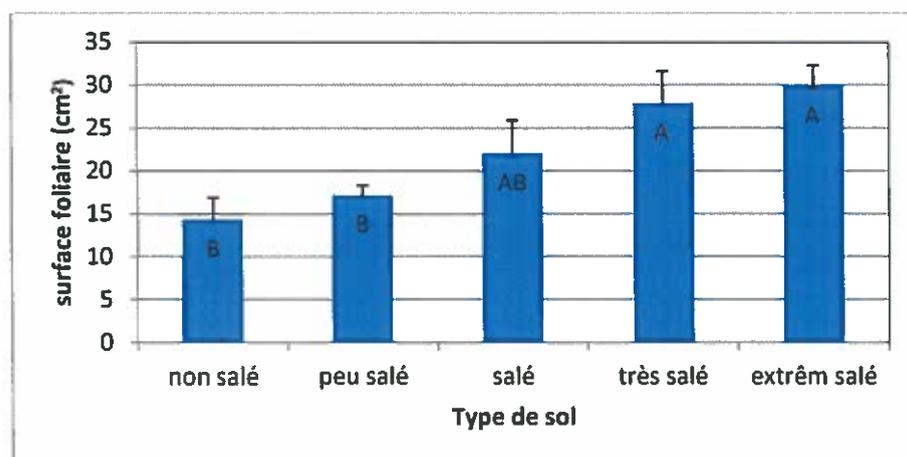


Figure 36. Effet de la salinité du sol sur la surface foliaire des plantes de l'*Atriplex halimus* L.

2. Paramètres physiologiques

2.1. Teneur relative en eau

Les résultats de l'expérience effectuée pour déterminer les variations de la teneur relative en eau des plantes de l'*Atriplex halimus* L. sous l'action de la salinité sont illustrés sur la figure 37.

L'*Atriplex halimus* L. cultivée sur substrats salé présente des valeurs de TRE nettement inférieure à ceux de l'*A. halimus* conduite en absence de la contrainte saline. Ces valeurs oscillent entre un maximum de 83,56% pour les plantes menées sur sol non salé et un minimum de 61,11% pour celles cultivées sur sol extrêmement salé.

L'étude statistique (tableau 38) montre qu'il existe un effet très hautement significatif de la salinité du substrat sur les variations de la teneur relative en eau « $p=0,000$ ».

Tableau 34: Effet de la salinité sur la teneur relative en eau des plantes de l'*A. halimus*.

Paramètre étudié	Niveau de salinité du sol				
	Non salé	Peu salé	salé	Très salé	Extrêmement salé
TRE (%)	83,56±10,04	80,08±4,5	72,44±1,50	66,01±1,64	61,11±6,99

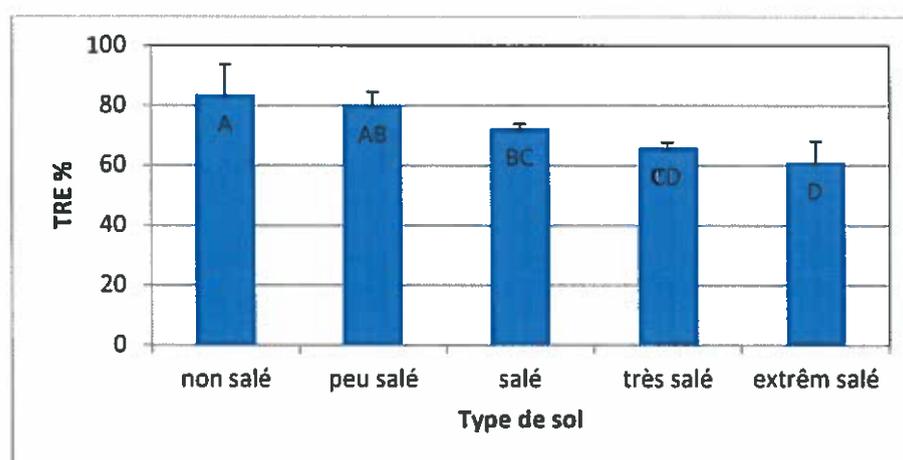


Figure 37. Effet de la salinité du sol sur la teneur relative en eau des plantes de l'*Atriplex halimus* L.

2.2. Teneur en chlorophylle

La figure 38 présente l'évolution des teneurs en chlorophylle a, b et a+b des plantes de l'*Atriplex halimus* L. en fonction de la salinité du substrat de culture.

En absence de conditions contraignantes, les plantes synthétisent 1,17 $\mu\text{g/g}$ de M.F. et 0,77 $\mu\text{g/g}$ de M.F. de chlorophylle a et chlorophylle b respectivement. La production des pigments chlorophylliens semble n'avoir pas été affectée de manière substantielle pour les plantes cultivées sur sols peu salé.

Les quantités les plus élevées de chlorophylle a et chlorophylle b sont synthétisées par les plantes de l'*Atriplex halimus* L. conduites sur sol salé avec des valeurs de 1,29 $\mu\text{g/g}$ de M.F.

et 0,85 $\mu\text{g/g}$ de M.F. Respectivement. Ces valeurs sont supérieures à celles obtenues au niveau du traitement sans stress.

En se basant sur l'analyse statistique mentionnée dans le tableau 38, il s'établit que la salinité de sol a un effet très hautement significatif sur les variations de chlorophylle b « $p=0,00$ » et de chlorophylle a+b « $p=0,00$ » et un effet hautement significatifs sur la chlorophylle a « $p=0,006$ ».

Tableau 35: Effet de la salinité sur la teneur en chlorophylle des plantes de l'*A. halimus*.

Paramètre étudié	Niveau de salinité du sol				
	Non salé	Peu salé	salé	Très salé	Extrêmement salé
Teneur en chlorophylle a ($\mu\text{g/g}$ de M.F.)	1,17 \pm 0,19	1,13 \pm 0,16	1,29 \pm 0,25	0,84 \pm 0,16	0,68 \pm 0,32
Teneur en chlorophylle b ($\mu\text{g/g}$ de M.F.)	0,77 \pm 0,07	0,79 \pm 0,04	0,85 \pm 0,03	0,57 \pm 0,07	0,46 \pm 0,05
Teneur en chlorophylle a+b ($\mu\text{g/g}$ de M.F.)	1,95 \pm 0,16	1,93 \pm 0,16	2,15 \pm 0,33	1,41 \pm 0,19	1,15 \pm 0,36

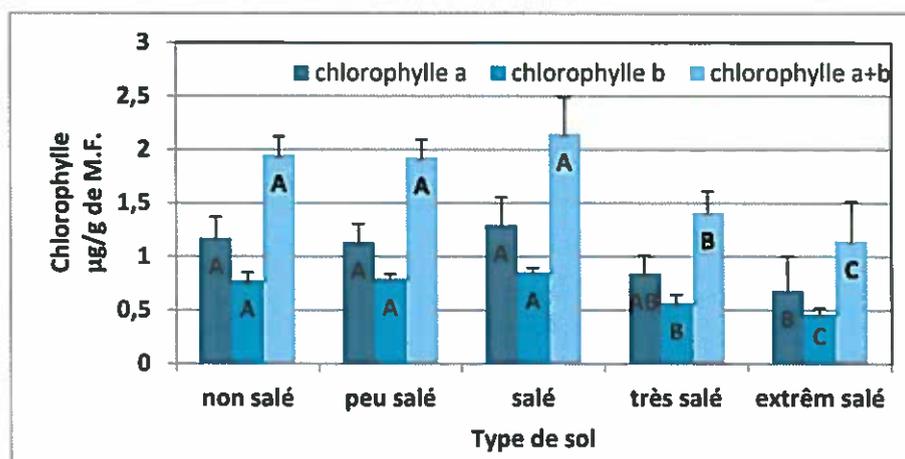


Figure 38. Effet de la salinité du sol sur la teneur en chlorophylle a, chlorophylle b et chlorophylle a+b des plantes de l'*Atriplex halimus* L.

2.3. Teneur en proline

Sous l'effet de la contrainte saline, la teneur moyenne en proline au niveau des parties aériennes et racinaires des plantes de l'*Atriplex halimus* L. augmente significativement avec

l'intensité du stress salin (figure 39). Les valeurs les plus faibles sont enregistrées au niveau des plantes cultivées sur sol peu salé avec 5,43 $\mu\text{g/g}$ de M.F. au niveau des racines et 7,39 $\mu\text{g/g}$ de M.F. au niveau des parties aériennes.

Pour la même concentration des sels au niveau de substrat de culture, les plantes de l'*Atriplex halimus* L. ont tendance à synthétiser et accumuler des quantités importantes de proline au niveau de leurs parties aériennes par rapport aux parties souterraines.

Les taux de proline accumulées augmentent au fur et à mesure que le stress salin augmente en enregistrant une teneur maximal chez les plantes cultivées sur sol extrêmement salé avec des valeurs de 34,17 $\mu\text{g/g}$ de M.F. au niveau des racines et 37,96 $\mu\text{g/g}$ de M.F. au niveau des parties aériennes.

L'étude de l'Anova (tableau 38) révèle un effet très hautement significatif du facteur salinité sur les variations des teneurs en proline des parties racinaires « $p=0,000$ » et des parties aériennes « $p=0,000$ ».

Tableau 36: Effet de la salinité sur la teneur en proline des plantes de l'*A. halimus*.

Paramètre étudié	Niveau de salinité du sol				
	Non salé	Peu salé	salé	Très salé	Extrêmement salé
Teneur en proline P.A. ($\mu\text{g/g}$ de M.F.)	8,26 \pm 1,31	7,39 \pm 1,67	28,28 \pm 2,01	35,89 \pm 1,75	37,96 \pm 0,90
Teneur en proline P.R. ($\mu\text{g/g}$ de M.F.)	5,97 \pm 1,59	5,43 \pm 0,78	23,74 \pm 0,94	29,14 \pm 1,33	34,17 \pm 1,02

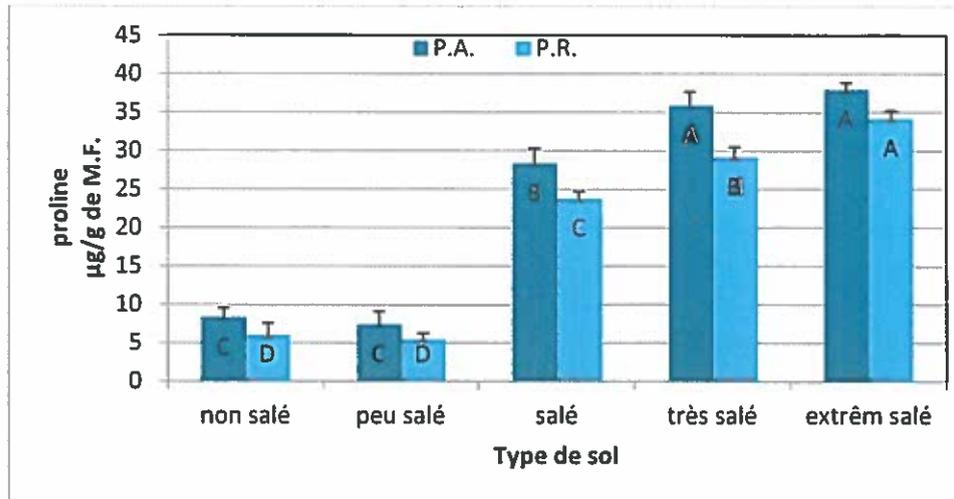


Figure 39. Effet de la salinité du sol sur la teneur en proline des plantes de l'*Atriplex halimus* L.

2.4. Teneur en sucres solubles

Les résultats moyens (figure 40) révèlent qu'en absence de stress salin, les plantes de l'*Atriplex halimus* L. accumulent des quantités de sucres solubles allant de 13,84 µg/g de M.F. au niveau des racines à 30,80 µg/g de M.F. au niveau des feuilles et tiges.

Plus la concentration de sels dans le milieu de culture des plantes augmente plus les teneurs en sucres solubles des parties aériennes et racinaires deviennent plus importantes.

Pour le même niveau de salinité, la quantité des sucres solubles accumulés est plus élevée au niveau des tiges et feuilles qu'au niveau des racines.

L'étude analytique des variations de ce paramètre (Tableau 38) met en exergue un effet très hautement significatif du facteur « salinité » ($P = 0,00$).

Tableau 37: Effet de la salinité sur la teneur en sucres des plantes de l'*A. halimus*.

Paramètre étudié	Niveau de salinité du sol				
	Non salé	Peu salé	salé	Très salé	Extrêmement salé
Teneur en sucres P.A. (µg/g de M.F.)	30,80±2,86	53,24±3,57	87,25±5,97	63,99±1,03	114,1±4,63
Teneur en sucres P.R. (µg/g de M.F.)	13,84±0,74	15,82±0,28	28,03±0,84	33,36±1,50	39,37±1,69

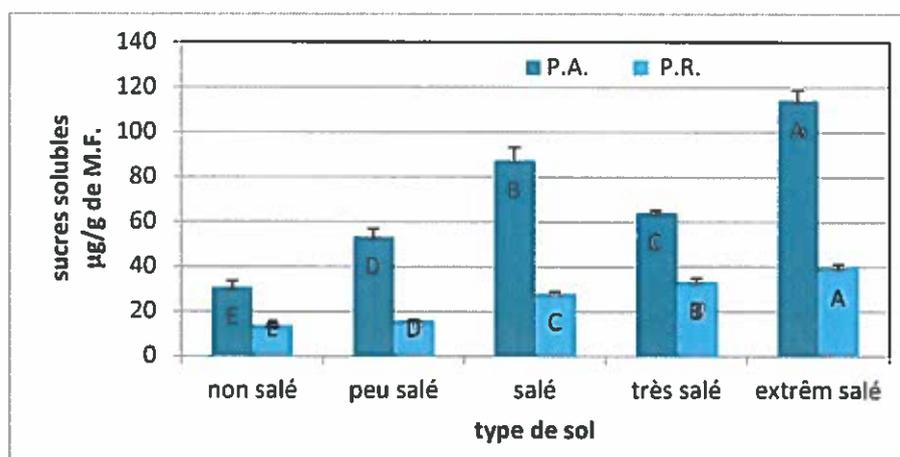


Figure 40. Effet de la salinité du sol sur la teneur en sucres solubles des plantes de l'*Atriplex halimus* L.

Tableau 38 : Analyses ANOVA des paramètres physiologiques.

Source de variation	Paramètres							
	RWC	Chl A	Chl B	Chl A+B	Proline P.R.	Proline P.A.	Sucres P.R.	Sucres P.A.
Facteur salinité	0,000 ***	0,006 **	0,000 ***	0,000 ***	0,000 ***	0,000 ***	0,000 ***	0,000 ***

(ns: non significatif ; * : significatif ; *** : très hautement significatif).

3. Paramètres chimiques

3.1. Teneur en sodium

A la lumière de la figure 41, il s'établit que les teneurs en Na^+ des parties aériennes et racinaires de l'*Atriplex halimus* L. augmentent significativement avec l'intensité du stress salin.

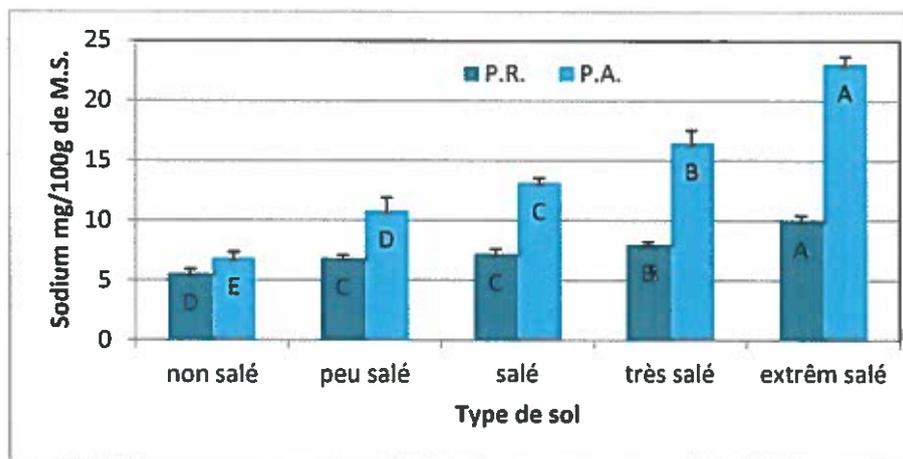
En absence de la contrainte saline, les teneurs en Na^+ accumulées dans les différentes parties de l'*Atriplex* varient entre un minimum de 5,52 mg/100 g de M.S. pour les racines et un maximum de 6,85 pour les parties aériennes. Ces valeurs deviennent plus importantes au fur et à mesure que la salinité augmente dont les grandeurs trouvées atteignent 23,1 mg/100 g de M.S. dans les tiges et feuilles des plantes menées sur sol extrêmement salé.

Les valeurs de sodium enregistrées au niveau des parties souterraines restent faibles comparées à celles enregistrées dans les tiges et feuilles des plantes.

L'analyse de la variance des teneurs en Na^+ accumulé dans les parties aériennes et racinaires (tableau 42) permet de relever un effet très hautement significatif du facteur salinité « $p=0,000$ ».

Tableau 39: Effet de la salinité sur la teneur en sodium des plantes de l'*A. halimus*.

Paramètre étudié	Niveau de salinité du sol				
	Non salé	Peu salé	salé	Très salé	Extrêmement salé
Teneur en sodium P.A. (mg/100 g de M.S.)	6,85±0,49	10,81±1,07	13,17±0,38	16,51±1,03	23,1±0,60
Teneur en sodium P.R. (mg/100 g de M.S.)	5,52±0,38	6,83±0,23	7,22±0,39	8,01±0,21	10,02±0,41

**Figure 41.** Effet de la salinité du sol sur la teneur en sodium des plantes de l'*Atriplex halimus* L.

3.2. Teneur en potassium

A la lumière de la figure 42, il s'établit que les teneurs en K^+ des racines et des tiges et feuilles de l'*Atriplex halimus* L. sont visiblement important dans l'ensemble des plantes témoins avec un maximum de 32,60 mg/100 g de M.S.

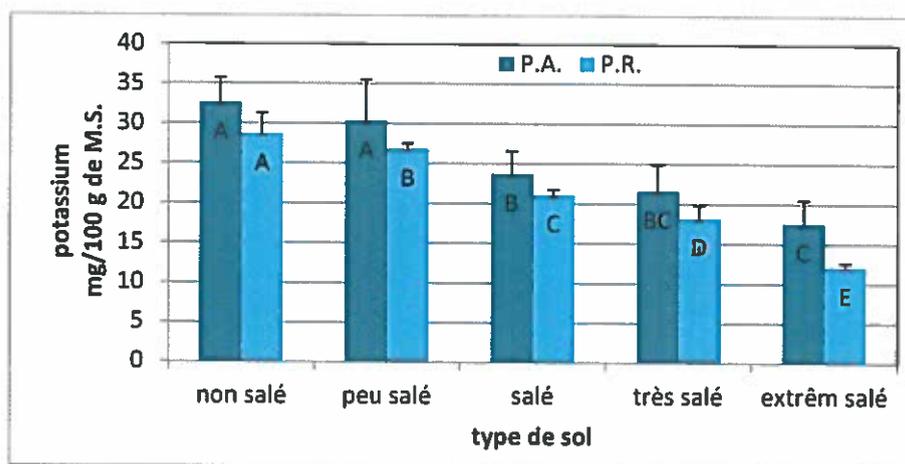
La conduite de ces plantes sur des sols salés diminue ces valeurs qui peuvent atteindre un minimum de 16,09 mg/100 g de M.S. dans les racines.

Selon ces résultats nous remarquons que la partie aérienne de la plante accumule plus de K^+ par rapport aux racines.

Selon l'analyse de la variance (tableau 42) nous distinguons un effet très hautement significatif du facteur salinité « $p=0,000$ » sur les variations des taux de K^+ dans les parties aériennes et racinaires de l'*Atriplex halimus* L.

Tableau 40: Effet de la salinité sur la teneur en potassium des plantes de l'*A. halimus*.

Paramètre étudié	Niveau de salinité du sol				
	Non salé	Peu salé	salé	Très salé	Extrêmement salé
Teneur en K ⁺ P.A. (mg/100 g de M.S.)	32,60±3,10	30,31±5,13	23,71±2,87	21,65±3,23	17,58±2,88
Teneur en K ⁺ P.R. (mg/100 g de M.S.)	28,69±2,58	26,83±0,67	21,12±0,64	18,21±1,57	16,09±0,49

**Figure 42.** Effet de la salinité du sol sur la teneur en potassium des plantes de l'*Atriplex halimus* L.

3.3. Teneur en calcium

L'évolution des teneurs en Ca²⁺ dans les racines et les feuilles de l'*Atriplex halimus* L. conduite sur des sols à différents niveaux de salinité est enregistrée sur la figure 43.

Selon cette figure l'évolution des taux de Ca²⁺ suit la même cinétique enregistrée pour les variations de K⁺. De ce fait la teneur maximale de Ca²⁺ est enregistrée dans les plantes témoins mais ces teneurs chutent significativement avec l'intensité de la salinité de substrat de culture.

Quel que soit le degré de salinité du sol, le calcium a tendance à migrer vers les parties aériennes de la plante.

L'étude analytique des variations de ce paramètre (Tableau 42) met en exergue un effet

très hautement significatif du facteur «salinité» ($P = 0,00$).

Tableau 41: Effet de la salinité sur la teneur en calcium des plantes de l'*A. halimus*.

Paramètre étudié	Niveau de salinité du sol				
	Non salé	Peu salé	salé	Très salé	Extrêmement salé
Teneur en Ca^{2+} P.A. (mg/100 g de M.S.)	37,19±0,38	30,84±1,35	25,59±1,27	23,05±2,90	20,19±1,01
Teneur en Ca^{2+} P.R. (mg/100 g de M.S.)	32,84±0,87	26,82±1,46	19,13±0,90	16,9±0,92	15,70±1,1

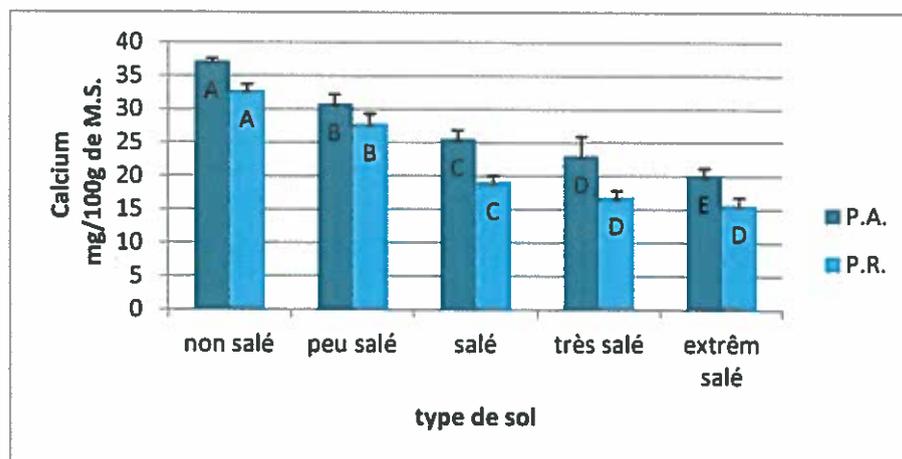


Figure 43. Effet de la salinité du sol sur la teneur en calcium des plantes de l'*Atriplex halimus* L.

Tableau 42 : Analyses ANOVA des paramètres chimiques.

Source de variation	Paramètres					
	Na^+ P.R.	Na^+ P.A.	K^+ P.R.	K^+ P.A.	Ca^{2+} P.R.	Ca^{2+} P.A.
Facteur salinité	0,000***	0,000***	0,000***	0,000***	0,000***	0,000***

(ns: non significatif ; * : significatif ; *** : très hautement significatif).

4. Paramètres du système antioxydant

4.1. Teneur en peroxydase

Sous l'effet de la contrainte saline, la teneur moyenne en peroxydase des parties

aériennes et racinaires de l'*Atriplex halimus* L. augmente significativement avec l'intensité du stress salin sauf pour le sol extrêmement salé les valeurs sont proche de celles enregistrées sur le sol témoin (non salé).

Selon les résultats mentionnés sur la figure (44) nous trouvons que les racines de l'*Atriplex* accumulent plus de peroxydase par rapport aux tiges et feuilles. Les valeurs les plus faibles sont enregistrées pour le sol non salé, les plantes issues de ce traitement enregistrent des valeurs allant de 1,06 pour les parties aériennes à 2,24 pour les parties souterraines.

L'analyse de la variance (tableau 47) montre un effet très hautement significatif « $p=0,00$ » du facteur salinité sur l'expression des variations de ce paramètre.

Tableau 43: Effet de la salinité sur la teneur en peroxydase des plantes de l'*A. halimus*.

Paramètre étudié	Niveau de salinité du sol				
	Non salé	Peu salé	salé	Très salé	Extrêmement salé
Teneur en peroxydase P.A. (Δ DO470/mg protéine)	1,06 \pm 0,16	2,23 \pm 0,08	3,12 \pm 0,28	3,80 \pm 0,14	2,18 \pm 0,16
Teneur en peroxydase P.R. (Δ DO470/mg protéine)	2,24 \pm 0,25	3,98 \pm 0,09	4,58 \pm 0,23	5,14 \pm 0,16	2,08 \pm 0,25

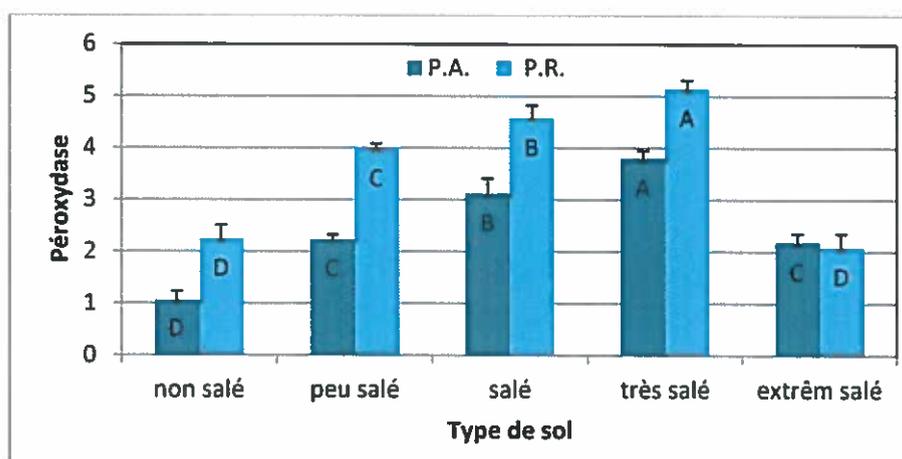


Figure 44. Effet de la salinité du sol sur la teneur en peroxydase des plantes de l'*Atriplex halimus* L.

4.2. Teneur en catalase

La figure (45) présente l'évolution des taux de catalase dans les parties racinaires et aériennes de l'*Atriplex halimus* L. en fonction de la salinité de substrat de culture. Les résultats

concernant la partie aérienne présentent une réaction significative à la hausse de ce paramètre avec l'augmentation de la salinité du sol.

Cependant pour la partie racinaire nous remarquons une fluctuation des teneurs en catalase, dont les valeurs enregistrées varient entre un minimum de 1,03 marqué chez les plantes menées sur sol peu salé et un maximum de 2,7 enregistré chez celles cultivées sur sol salé.

L'analyse de la variance des taux d'accumulation de catalase au niveau racinaire et aérien permet de déceler un effet très hautement significatif de facteur d'étude « $p=0,00$ ».

Tableau 44: Effet de la salinité sur la teneur en catalase des plantes de l'*A. halimus*.

Paramètre étudié	Niveau de salinité du sol				
	Non salé	Peu salé	salé	Très salé	Extrêmement salé
Teneur en catalase P.A. (Δ DO240/mg protéine)	0,89 \pm 0,01	0,96 \pm 0,04	1,63 \pm 0,12	1,89 \pm 0,07	2,28 \pm 0,12
Teneur en catalase P.R. (Δ DO240/mg protéine)	1,43 \pm 0,3	1,03 \pm 0,15	2,7 \pm 0,25	1,63 \pm 0,11	1,38 \pm 0,06

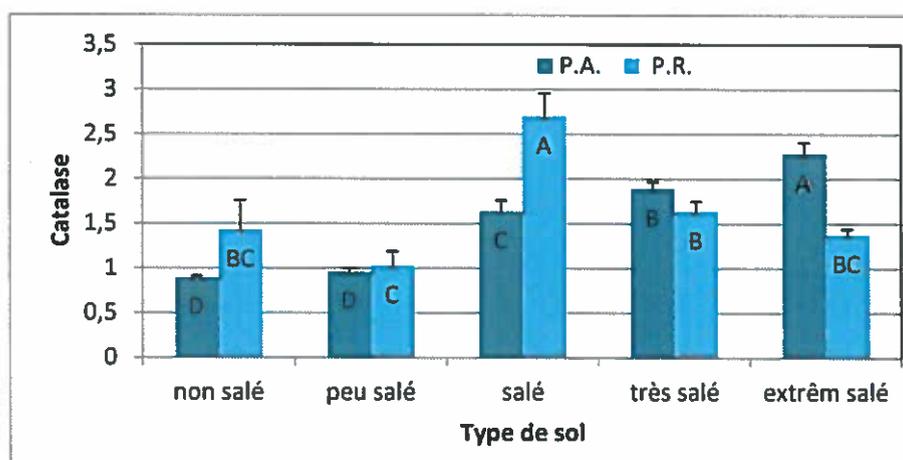


Figure 45. Effet de la salinité du sol sur la teneur en catalase des plantes de l'*Atriplex halimus* L.

4.3. Teneur en flavonoïdes

La figure (46) qui présente l'évolution des teneurs en flavonoïdes des plantes de l'*Atriplex halimus* L. en fonction de la salinité montre que les valeurs de ce paramètre augmentent significativement avec l'intensité de cette contrainte abiotique.

Un taux maximum de 4,86 mg/g de M.S. est enregistré chez les *Atriplex* cultivées sur sol extrêmement salé.

L'étude analytique des variations de ce paramètre (Tableau 47) met en exergue un effet très hautement significatif du facteur «salinité» ($P = 0,00$).

Tableau 45: Effet de la salinité sur la teneur en flavonoïdes des plantes de l'*A. halimus*.

Paramètre étudié	Niveau de salinité du sol				
	Non salé	Peu salé	salé	Très salé	Extrêmement salé
Teneur en flavonoïdes (mg/g de M.S.)	1,80±0,22	2,63±0,59	3,45±0,45	4,08±0,34	4,86±0,40

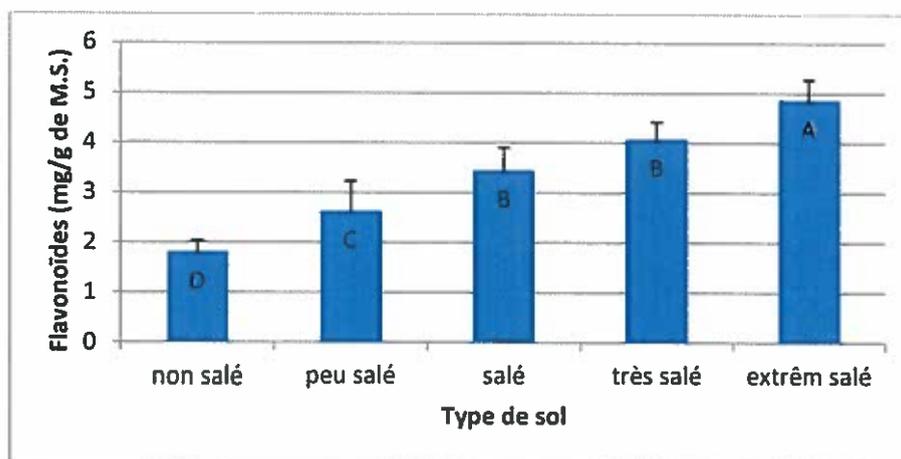


Figure 46. Effet de la salinité du sol sur la teneur en flavonoïdes des plantes de l'*Atriplex halimus* L.

4.4. Teneur en phénols totaux

Les résultats concernant l'évolution des taux des phénols totaux par rapport à la salinité sont enregistrés sur la figure (47).

Les plantes de l'*Atriplex halimus* L. ont répondu positivement au gradient de la salinité de substrat de culture avec un minimum de 22,21 mg/g de M.S. enregistré chez les plants cultivées sur sol non salé et un maximum de 26,3 mg/g de M.S enregistré chez celles cultivées sur sol extrêmement salé.

Selon l'analyse de la variance (tableau 47) nous distinguons un effet très hautement significatif du facteur salinité « $p=0,004$ » sur les variations de ce paramètre.

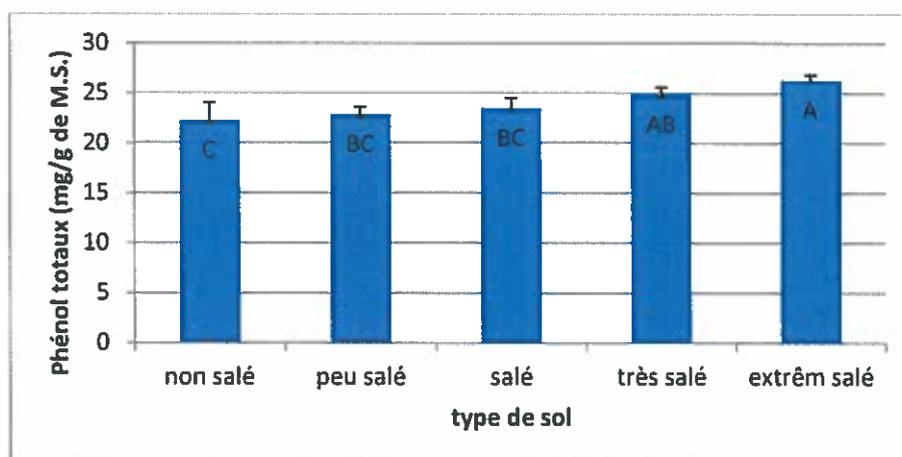
Tableau 46: Effet de la salinité sur la teneur en phénols totaux des plantes de l'*A. halimus*.

Paramètre étudié	Niveau de salinité du sol				
	Non salé	Peu salé	salé	Très salé	Extrêmement salé
Teneur en phénols totaux (mg/g de M.S.)	22,21±1,76	22,83±0,68	23,46±0,98	24,84±0,75	26,3±0,53

Tableau 47 : Analyses ANOVA des paramètres du système antioxydant.

Source de variation	Paramètres					
	TFC P.A.	TPC P.A.	POD P.A.	POD P.R.	CAT P.A.	CAT P.R.
Facteur salinité	0,00006***	0,00482***	0,000***	0,000***	0,000***	0,00004***

(ns: non significatif ; * : significatif ; *** : très hautement significatif).

**Figure 47.** Effet de la salinité du sol sur la teneur en phénol totaux des plantes de l'*Atriplex halimus* L.

III. Résultats trouvés sur le sol

1. CE du sol

La figure (48) montre que la conductivité électrique de la solution du sol présente des variations notables, elle diminue en fonction de type de la culture. Cette diminution est plus

importante dans les échantillons du sol cultivés par l'*Atriplex halimus* L associée à la tomate. Dont les variations les plus remarquable sont enregistrées pour le sol extrêmement salé (T+A) avec une réduction de CEs de 41,56% par rapport au sol non cultivé et de 32,26% par rapport au sol cultivé seulement par la tomate (T).

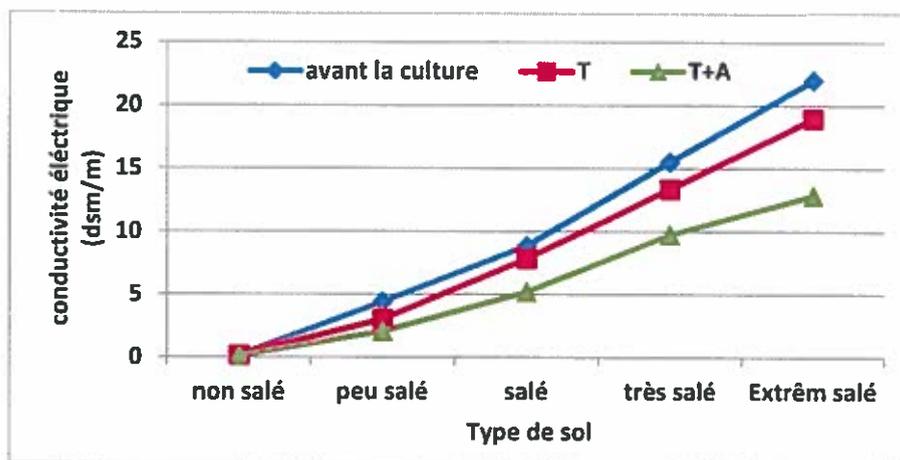


Figure 48. Évolution de la conductivité électrique de la solution du sol (CEs) de l'extrait aqueux en fonction de type de culture installée.

2. pH du sol

La figure (49) fournit l'évolution des pH des différents échantillons des sols en fonction de type de culture installée. Nous remarquons que les valeurs du pH les plus élevées sont enregistrées dans les échantillons des sols non cultivés avec un maximum de 8,02 marqué chez le sol non salé avant la culture.

L'installation des cultures sur les sols étudiés diminue leurs pH, cette diminution est plus remarquable lorsque le substrat est cultivé par la tomate intercalée par l'*Atriplex halimus* L. dont la valeur minimale est de 7,48 enregistrée chez le sol peu salé.

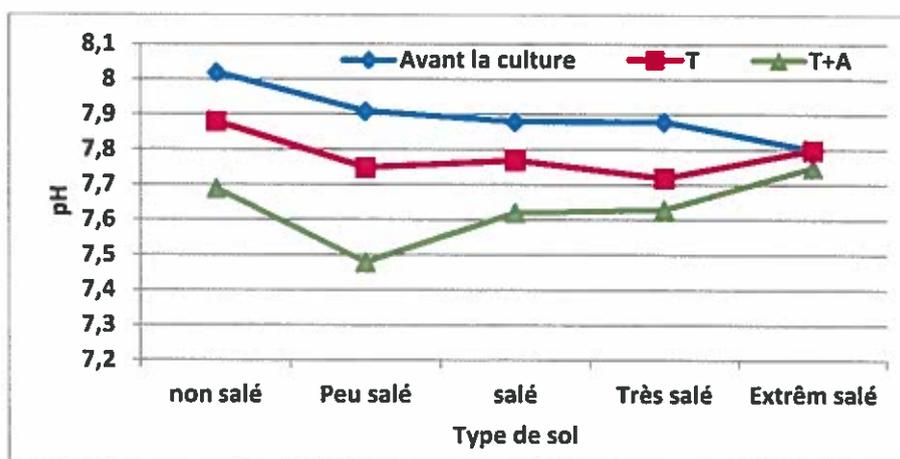


Figure 49. Évolution du pH de la solution du sol en fonction de type de culture installée

3. Teneur en matière organique du sol

La cinétique de l'évolution des taux de la matière organique au niveau du sol présentée sur la Figure (50), montre que les courbes relatives aux taux de M.O. des sols non cultivés sont situées en dessous de ceux cultivés.

Les teneurs maximales en matière organique sont enregistrées dans les échantillons du sol cultivés par la tomate associée de l'*Atriplex halimus* L. avec une valeur maximale de 2,42 % marquée chez le sol salé.

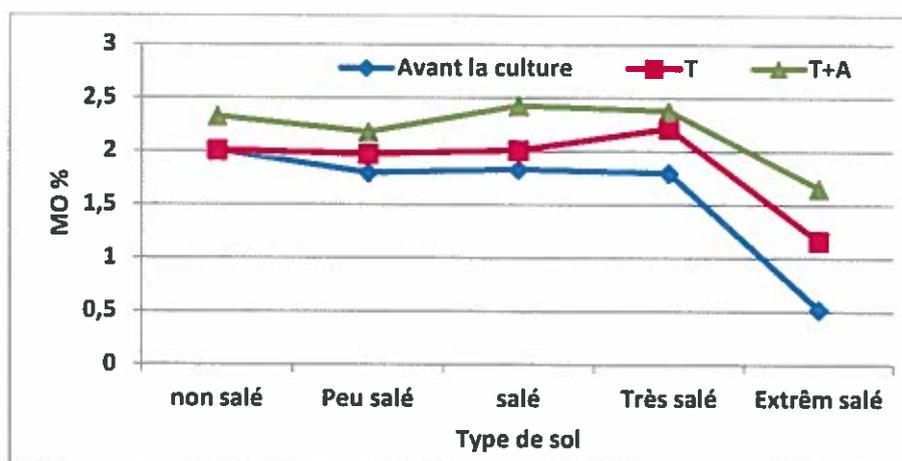


Figure 50. Évolution de la matière organique des sols en fonction de type de culture installée.

4. Teneur en sodium du sol

Pour le même type de sol, le sodium s'accumule moins dans la solution du sol cultivé par l'*Atriplex halimus* L. par rapport au sol cultivé seulement par la tomate et au sol non cultivé.

Le type de culture n'a pas un effet significatif sur la teneur en sodium de la solution du sol pour les deux types de substrat non salé et peu salé remarquant que les valeurs sont très proches. Cependant pour les autres niveaux de salinité le sol garde la plus basse quantité de Na^+ lorsqu'il est cultivé par l'*Atriplex halimus* L.

Cette réduction en sodium de la solution du sol en présence des *Atriplex* est peut être due à son absorption et translocation par cette dernière.

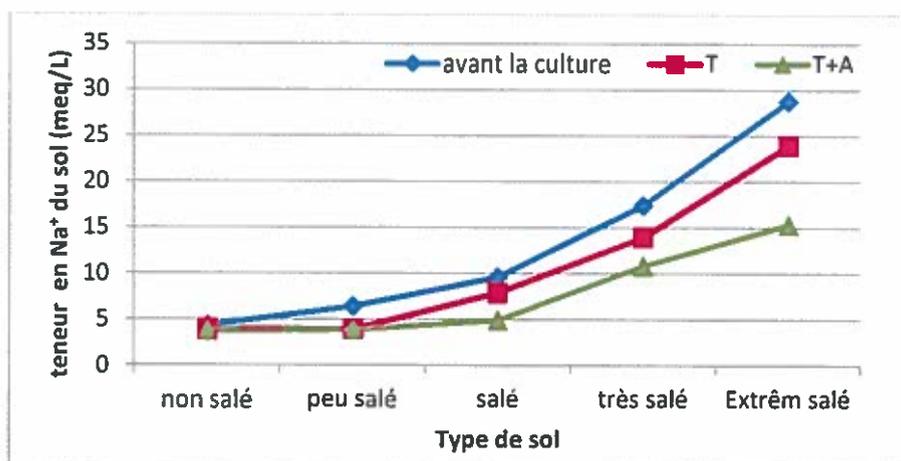


Figure 51. Évolution de la concentration en sodium de la solution du sol (meq/l) de l'extrait aqueux en fonction de type de culture installée

5. Teneur en potassium du sol

Quant au potassium, la figure 52 Nous montre que la présence de *Solanum lycopersicum* L. et l'*Atriplex halimus* L. réduit la concentration en potassium de la solution du sol non salé et peu salé comparé au même sol avant la culture. Pour les autres types de sol le K^+ s'accumule d'avantage dans la solution du sol cultivé seulement par la tomate par rapport à celui non cultivé avec une différence maximale de 73,10% enregistrée sur le sol extrêmement salé.

Les faibles concentrations en potassium de la solution du sol cultivé non salé et peu salé est dû au fait que le potassium est utilisé par les plantes dans leurs métabolisme. Alors que son accumulation avec des valeurs élevées dans la solution des sols très salé et extrêmement salé est expliquée par son non utilisation par les plantes à cause de la présence de forte concentration de Na^+ (figure 51) qui limite l'utilisation de K^+ par les plantes.

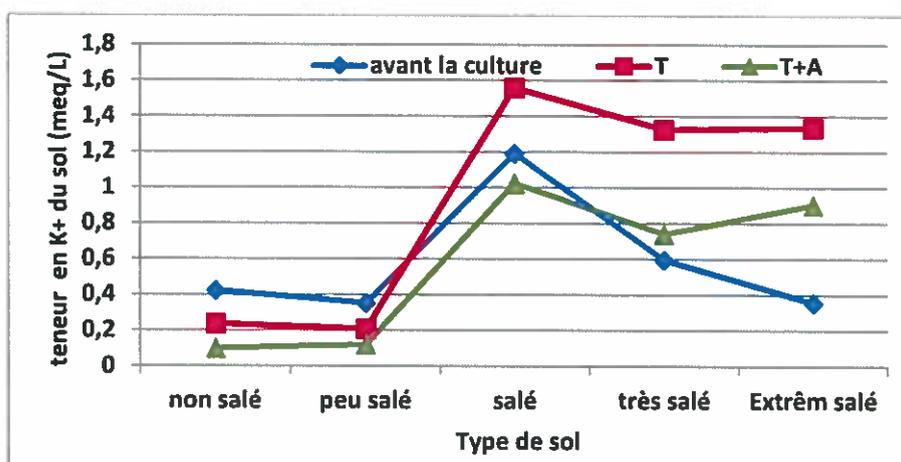


Figure 52. Évolution de la concentration en potassium de la solution du sol (meq/l) de l'extrait aqueux en fonction de type de culture installée

DISCUSSION

I. EFFET DE STRESS SALIN SUR LA TOMATE

➤ Paramètres biométriques

Les données obtenues concernant les paramètres biométriques étudiés indiquent qu'il y a une diminution de la croissance qui se traduit par une diminution de la longueur des tiges, de nombre des feuilles par plante, des surfaces foliaires et de nombre des fruits des plantes de la tomate. Cette diminution est considérablement significative avec l'augmentation de la salinité du sol. Ceci peut s'expliquer par le déséquilibre ionique (Boutahraoui et al., 2017) causé par les fortes concentrations des sels dans le substrat de culture des plantes. En effet l'accumulation des ions Na^+ dans la plante limite l'absorption des cations indispensables tels que K^+ et Ca^{2+} . Il y aurait une compétition entre Na^+ et Ca^{2+} pour les mêmes sites de fixation apoplasmique (Haouala et al., 2007). Ce déséquilibre nutritionnel est une cause possible des réductions de croissance en présence de sel lorsque des ions essentiels comme K^+ , Ca^{2+} ou NO_3^- deviennent limitants (Soltani, 1988).

Selon Zraibi et al. (2012), La présence du sel dans le sol se traduit par une réduction de la disponibilité de l'eau d'autant plus importante que le sol est sec et la salinité est forte. Cette carence en eau causé par la salinité est un facteur limitant de la croissance des plantes en effet Rey et Costes (1965) notent que le déficit hydrique en phase critique (floraison et fructification) gêne la croissance de la tomate et diminue le rendement de même. Chez les plantes de la tomate, le stress salin réduit tous les paramètres de croissance, et cette réduction était plus importante quand la salinité est plus élevée (Saeed et al., 2011).

Une régression des hauteurs des plantes de la tomate conduites sur sol à différents niveaux de salinité, a été enregistrée chez les plantes de la tomate intercalées par l'*Atriplex halimus* L. et même chez celles cultivées seules. La réduction de la croissance de l'appareil végétatif aérien est une capacité adaptative nécessaire à la survie des plantes exposées à un stress abiotique (Benmahioul et al., 2009).

Boutahraoui et al. (2017) ont constaté que Les plants de la tomate alimentés avec une solution saline présentent la hauteur finale des plants la plus faible. Les mêmes constatations ont été notées par Ould Mohamdi et al. (2011) sur la tomate, Zraibi et al. (2012) sur les plantes de carthame, par Karoune et al. (2017) sur *Acacia albida* et par Atou et al. (2020) sur l'amarante (*Amaranthus cruentus* L.).

Cette réduction a été plus prononcée en absence de l'*Atriplex halimus* L. En effet la

hauteur des tiges de la tomate dans le lot T+A est plus importante que celle dans le lot T en enregistrant des différences de 24,9%, 6,27% et 23,43% respectivement pour le sol peu salé, salé et très salé. Ces résultats sont identiques avec ceux obtenus par **Zuccarini (2008)**, qui a montré que les plantes de la tomate cultivées sur sol salin et en associations avec *Portulaca oleracea* L et *Atriplex hortensis* L. poussaient plus que celles cultivées seules sur sol salin

Apparemment cette différence des hauteurs des tiges entre les deux lots résulte de la capacité de l'*Atriplex halimus* L. à extraire les sels à partir des milieux de culture et les transférer vers ses parties aériennes et par suite diminuer la salinité du sol et minimiser les risques du déséquilibre ionique. **Bartels et Nelson (1994)**, ont montré une bonne capacité à accumuler des quantités massives de sodium dans les vacuoles des feuilles de l'*Atriplex halimus* L. Cette séquestration des ions constitue le mécanisme fondamental par lequel cette halophyte ajuste le potentiel osmotique de leurs tissus internes pour la salinité externe.

Les observations sur la surface foliaire mentionnent une réduction significative de ce paramètre sous l'influence du stress salin. La présence de l'*Atriplex halimus* L en culture intercalaire de la tomate diminue les effets négatifs des sels sur ce paramètre. En effet les feuilles des plantes de la tomate associées à l'*Atriplex halimus* ont une surface foliaire supérieure à celle des plantes cultivées seules. Cette supériorité est plus significative chez les plantes conduites sur sol salé avec une différence de 17,64 % entre les deux lots T et T+A.

Ces résultats sont en accord avec ceux apportés par **Zraibi et al. (2012)**, ces derniers ont montré une diminution de la surface foliaire des plantes de carthame conduites sous la contrainte saline. **Norman et Lawrence (1984)** ont aussi montré que sous l'effet de la salinité, il y a une diminution de la croissance qui se traduit par une réduction de la surface foliaire. Les mêmes constatations ont été dévoilées par **Atou et al. (2020)** sur l'amarante (*Amaranthus cruentus* L.) de même **Auge et al. (1989)** montre que les concentrations élevées de NaCl provoque une forte réduction de la surface foliaire.

Il a été reporté aussi que le stress salin cause une diminution de nombre des feuilles et de nombre des fruits par plante au fur et à mesure avec l'augmentation du stress salin. Cette diminution devient moins importante quand la tomate cultivée sur sol salin est associée à l'*Atriplex halimus* L. Conformément à nos résultats, Le nombre des fruits par plantes de la tomate cultivées sur sol salé et associées à *Portulaca oleracea* L et à *Atriplex hortensis* L est plus élevé à celui de la tomate cultivée seule sur sol salé (**Zuccarini, 2008**) dans le même contexte et en conditions salines, les plantes de la tomate compagnes *Salsola soda* L. et

Portulaca oleracea L. déterminent une augmentation de 22% et 33% du rendement de la tomate par rapport à la tomate cultivée seule (Graifenberg et al., 2003).

Dans notre étude, le nombre maximum des fruits par plante a été enregistré chez les plantes témoins cultivées sur sol non salé. Les mêmes résultats ont été signalés par le travail de (Zuccarini, 2008) réalisé sur la tomate cultivée en intercalaire des plantes halophytes (*Portulaca oleracea* L et à *Atriplex hortensis* L).

La concentration des ions minéraux dans la solution a une influence sur la vitesse d'absorption des ions (Barber et Stanley, 1995 ; Coïc, 1967) elle retarde la capacité de la plante d'absorber l'eau de la solution du sol (Albaho et Green, 2000) qui peut provoquer une fructification hâtive et peu abondante (Snoussi et Chikhi, 2012) limitant ainsi la croissance et le rendement en fruits (Albaho et Green, 2000). La diminution des rendements en condition saline selon Kahlaoui et al. (2010) résulte de la réduction du poids frais et du nombre des fruits. Cependant que Eltez et al. (2002) rapportent que le nombre de fruits n'est pas affecté par la salinité mais que la réduction du rendement est due à la diminution du calibre des fruits :

➤ Paramètres physiologiques

La teneur relative en eau est considérée comme une mesure de l'état hydrique de la plante, reflétant l'activité métabolique dans les tissus et utilisée comme l'indice le plus significatif pour la tolérance à la déshydratation (Anjum et al., 2011). Dans notre étude, le statut hydrique de la tomate semble influencé par la présence des sels dans le milieu de culture, en effet la TRE présente des valeurs maximales chez les plantes de la tomate cultivées en conditions témoins et elle diminue au fur et à mesure que le stress salin devient plus important. Ce qui semble être un comportement de résistance au stress salin (Bissati et al., 2011). Ces constatations corroborent avec les travaux d'Albouchi et al. (2003) sur *Casuarina glauca* ; Bissati et al. (2011) sur *Atriplex halimus* et *Atriplex canescens* ; Mehani et al. (2012) sur *Atriplex canescens* et Karoune et al. (2017) sur *Acacia albida*.

Une augmentation brutale de la salinité du sol se traduit par une réduction immédiate de la croissance foliaire. Celle-ci est associée à une baisse de la turgescence, elle-même liée à la diminution du gradient du potentiel hydrique entre les tissus de la plante et le milieu (Mehani et al., 2012). En effet, le stress salin, induit des changements au niveau du statut hydrique de la plante (Hasegawa et al., 2000 ; Fricke et Peters, 2002) il réduit le contenu relatif en eau des feuilles (Albouchi et al., 2003).

D'après les résultats obtenus, il semble que la teneur relative en eau des plantes de la

tomate est affectée par le stress salin, elle régresse significativement avec l'accroissement de la salinité du sol. Cependant que la tomate associée à l'*Atriplex halimus* L. présente une tolérance à la salinité plus élevée que celle cultivée seule, étant donné le maintien de la turgescence plus important chez la première et donc une meilleure régulation osmotique. **Bissati et al. (2011)** notent que la turgescence varie inversement avec le taux de salinité. On en déduit donc que la présence de l'*Atriplex halimus* L. diminue la sévérité du stress salin à lequel les plantes de la tomate sont exposées.

L'amélioration de la TRE des feuilles de la tomate intercalée par l'*Atriplex halimus* L. est enregistrée pour tous les niveaux de salinité du sol étudiés. Elle est plus remarquable chez les plantes cultivées sur sol salé avec une différence de 10,57 % entre les deux lots étudiés T et T+A.

La teneur en chlorophylle est le critère le plus utilisé pour quantifier l'état général de la plante, c'est un excellent bio-indicateur de stress (**Tripathi et Tripathi, 1999**). D'après les résultats de notre étude, les teneurs en chlorophylle a, chlorophylle b et chlorophylle totale ont subi une réduction significative sous l'effet des différentes concentrations des sels. Cette chute devient plus importante avec la sévérité du stress salin. Ces résultats rejoignent ceux de **Sivtsev (1973)** ; **El-Iklil et al. (2002)** et **Ould Mohamdi et al. (2011)** sur la tomate, de **Tewari et Singh (1991)** sur la lentille (*Lens esculenta* M); **Ibriz et al. (2004)** chez la luzerne ; **El Midaoui et al. (2007)** chez le tournesol ; **Zraibi et al. (2012)** sur le carthame ; **R'Him et al. (2013)** sur le piment ; **Belfakih et al. (2013)** sur le bananier ; **Djahra et al. (2015)** sur le blé dur et de **Bouassaba et Chougui (2018)** chez le piment.

Tous ces résultats cités qui montrent que L'accumulation des chlorophylles a ; b et a+b dans un milieu salin est inversement proportionnelle à l'enrichissement du milieu en sel sont différents des résultats de **Sharaf et al. (1990)** sur la tomate ; **Dali et al. (1997)** sur le piment ; **R'him et al., (2013)** sur la variété Midass du piment. Ces derniers rapportent qu'une salinité modérée augmente la quantité de la chlorophylle a et de la chlorophylle totale.

Comparant les deux lots étudiés, il en ressort que la présence de l'*Atriplex halimus* comme culture intercalaire peut atténuer les effets de la salinité sur l'élaboration de ce paramètre chez la tomate. En effet, pour le même niveau de salinité, les plantes de la tomate cultivées en association de l'*A halimus* L. présentent une augmentation de la teneur en chlorophylle par rapport à celles cultivées seules. Ces augmentations sont de l'ordre de 4,61 pour le sol peu salé, 14,82 % pour le sol salé et 15,26 % pour le sol très salé.

La réduction de la chlorophylle (a) et chlorophylle (b) est peut être liée à la sensibilité de sa biosynthèse au chlorure de sodium (Rhim et al., 2013). Dont l'effet osmotique produit par la salinité du sol peut causer des perturbations dans l'équilibre hydrique de la plante et l'inhibition de la croissance en provoquant la fermeture des stomates et la réduction de la photosynthèse (Wang et al., 2015) ainsi Une perte de turgescence serait responsable d'une diminution de la capacité photosynthétique (Munns et James, 2003).

La réduction de la concentration des chlorophylles des plantes sous stress pourrait être attribuée à une activation de la dégradation enzymatique par des chlorophyllases (Rao et Rao, 1981). Une dégradation lipidique entraînerait une perturbation des membranes thylacoïdales, une perte de l'intégrité des chloroplastes et par suite une diminution de l'activité photosynthétique (Benhassaine-Kesri et al., 2002).

La diminution de la conductance stomatique de CO₂ sous la contrainte saline (Santiago et Termaat, 1986) dans les feuilles est associée à une inhibition de la photosynthèse (Bouassaba et Chougui 2018). Des concentrations élevée d'ion sodium peuvent également conduire à une réduction de la photosynthèse qui serait la conséquence d'un stress secondaire oxydatif non spécifique (Flexas et al., 2004).

Les analyses réalisées sur les plantes indiquent des teneurs élevées en proline dans les différents organes de la tomate traitée cultivée sur sols salés ; ces teneurs ont été corrélées positivement avec la concentration de sels dans les milieux de culture de ces plantes.

Pour la même concentration des sels, la tomate synthétise plus de proline au niveau de ses parties aériennes et souterraines en absence de l'*Atriplex halimus* L. ce qui explique que l'intensité de stress salin pour les plantes de la tomate est plus importante en absence de cette halophyte.

Les concentrations salines appliquées ont provoqué une augmentation linéaire des teneurs en proline. Les mêmes tendances ont été observées chez l'olivier (Charltzoulakis, 1999) ; la fève (Bousaba, 2001) ; le thé (Chakraborty et al., 2002) ; le blé dur (Chorfi, 2009) ; le carthame (Zraibi et al., 2012) ; le bananier (Belfakih et al., 2013) ; la tomate (El-Iklil et al., 2001; Classen W., 2005 ; Ould Mohamdi et al., 2011) et le piment (Bouassaba et Chougui, 2018).

Cette augmentation de l'accumulation de la proline à (31,36 µg.g⁻¹ de MF) chez la tomate cultivée sur sol extrêmement salé pourrait être une explication de la capacité de résistance de *lycopersicum esculentum* Mill. au stress salin parce que l'accumulation de la

proline a été démontrée chez de nombreuses espèces et dans différentes situations de stress (osmotiques, hydriques, thermiques) (Hubac et Viera Da Silva, 1980 ; Bellinger et al., 1989 ; Dorfling et Askman, 1989 ; Ober et Sharp, 1994 ; Udea et al., 2007) au déficit hydrique chez *Sesuvium portulacastrum* (Slama et al., 2004) à la salinité, chez *Atriplex halimus* L. (Bidai, 2001) et en réponse au cadmium et autres métaux lourds (Schat et al., 1997; Sharma et Dietz, 2006).

Certains auteurs comme Singh et al. (1973) pensent que ces quantités de proline accumulées pourraient être liées au niveau de tolérance aux stress. Cependant que l'aptitude des plantes à la synthèse et à l'accumulation de la proline n'est pas spécifique seulement aux halophytes (Hu et al., 1992), elle l'est également pour de nombreuses glycophytes, telles que la tomate (Hernandez et al., 2000); le blé dur (Zerrad, 2006) et l'orge (Hassani et al., 2008). Les teneurs en proline s'accroissent rapidement chez de nombreuses mono- ou di-cotylédones soumises à un stress salin (Yoshiba et al., 1999; Rhodes et al., 2002; Silva-Ortega et al., 2008).

Le rôle attribué à la proline dans la réponse des plantes aux stress, reste parfois controversé: pour Qian et al. (2001), son accumulation contribue à l'acquisition de cette résistance grâce à l'ajustement osmotique dont la proline est responsable. Elle pourrait, également, intervenir dans la régulation du pH cytoplasmique (Denden et al., 2005) et dans la stabilisation des protéines (Ashraf et Foolad, 2007) protégerait la membrane cellulaire (Hassani et al., 2008), la proline intervient aussi dans la détoxification des formes actives d'oxygène (Hong et al., 2000; Kocsy et al., 2005) et constituerait une source de carbone et d'azote (Ahmad et Hellebust 1988; Peng et al., 1996; Sairam et Tyagi, 2004) utilisés par la plante postérieurement à la période du stress (Keller et Ludlow, 1993).

L'étude de l'évolution des teneurs des sucres solubles chez les plantes de la tomate conduite sous l'action de la salinité a permis de relever un effet significatif des sels sur l'élaboration de ce paramètre. En effet, les plantes de la tomate synthétisent et accumulent des quantités importantes des sucres dans leurs parties aériennes et racinaires. Ces quantités sont proportionnellement croissantes avec la sévérité de la contrainte saline et devient très importante chez les plantes cultivées sur sol très salé et extrêmement salé.

De plus, notre étude a montré que la présence de l'*Atriplex halimus* L. influe d'une façon remarquable sur les teneurs en sucres solubles des parties aériennes et souterraines des plantes de la tomate.

Comparant les deux lots de culture, nos résultats montrent que la teneur en sucres solubles est plus prononcée chez les plantes de la tomate cultivées seule par rapport à celles associées à l'*Atriplex halimus* L.

Selon **Ould Mohamdi et al. (2011)** les plantes de la tomate ont confronté le stress par une accumulation des sucres solubles dans leurs feuilles. Dans le même contexte **Zraibi et al. (2012)** montrent qu'au niveau des plantes de carthame la teneur en sucres solubles au niveau foliaire augmente drastiquement en conditions de stress salin.

Les plantes utilisent ces mécanismes pour supporter l'intensité de stress salin. Les sucres pourraient agir en tant qu'osmoticum, protéger des macromolécules spécifiques (enzymes) et contribuer à la stabilité des structures membranaires (**Su et al., 1999; Chen et Murata 2002; Bartels et Sunkar, 2005**).

Leur rôle principal consiste à maintenir un faible potentiel hydrique à l'intérieur des cellules (**Carpenter et al., 1990**) favorisant ainsi l'absorption d'eau malgré la présence du sel dans le sol (**Zraibi et al., 2012**).

L'augmentation de la teneur en sucres solubles lors d'un stress salin est parmi les phénomènes les plus observés dans la réponse au stress (**Hajihashemi et al., 2006**).

D'autres résultats sont contradictoires et montrent que la contrainte saline peut provoquer une chute de la synthèse des sucres au niveau des plantes. Norman a montré que sous l'effet de la salinité, il y a une diminution de la synthèse des sucres au niveau des feuilles. Selon **Aylaji et al. (2001)**, la richesse en saccharose des plantes de la betterave est fortement réduite en présence des fortes concentrations en sel dans l'eau d'irrigation. Elle peut atteindre 54% de réduction quand la plante est irriguée par une eau de 24,9 ds/m.

➤ Paramètres chimiques

Nos résultats montrent que la salinité induit une augmentation significative des taux de sodium accumulé dans les parties aériennes et souterraines des plantes de la tomate. Cette augmentation est corrélée positivement avec les concentrations de sels existants dans le milieu de culture des plantes. Ces résultats sont conformes avec ceux de **Saeed et al. (2011)** qui a observé que la concentration de Na^+ des plantes de la tomate augmentait avec le niveau de salinité et de **Atou et al. (2020)** sur l'amarante (*Amaranthus cruentus* L.) qui ont trouvé que sous l'effet du NaCl, la teneur en sodium des feuilles a subi une augmentation significative.

Pour le même niveau de salinité de substrat de culture, la tomate cultivée en absence de

Atriplex halimus L. emmagasine dans ses parties aériennes et souterraines des quantités de sodium plus élevé à celles des plantes de la tomate associées à *Atriplex halimus* L. Des résultats similaires ont été signalés par **Zuccarini (2008)** qui a montré que L'absorption de Na^+ est maximale dans les plantes de la tomate cultivées seules et irriguées par l'eau saline, et elle se diminue pour tous les traitements en association avec des plantes halophytes. Dans le même contexte, **Graifenberg et al. (2003)**. Ont trouvé qu'en cas de stress salin NaCl , la concentration de Na^+ dans les feuilles de la tomate a été significativement réduite de 39,6% et 35,6% dans la tomate cultivée avec *Salsola soda* L. et *Portulaca oleracea* L. respectivement par rapport à la tomate cultivée seule.

En comparant les deux parties de la plante étudiées, nous observons une accumulation plus fournie en Na^+ dans les feuilles de la tomate comparativement aux racines. Ceci corrobore les résultats de **Zid et Grignon (1991)** obtenus sur la tomate, de **Crameur et al. (1991)** sur l'orge et de **Chorfi (2009)** sur le blé dur.

D'autre part, la plupart des glycophytes, accumulent le Na^+ et excluent le K^+ quand la disponibilité des deux ions est similaire ou même lorsque le Na^+ est plus élevé (**Flowers et Lauchli, 1983**). Nos résultats confirment ceux signalés par ces auteurs ; en effet, nous avons trouvé que la présence des concentrations élevées des sels dans le milieu de culture des plantes de la tomate diminue l'absorption du potassium par les racines et ainsi sa translocation vers les parties aériennes de la plante. Les valeurs de K^+ des plantes de la tomate intercalées par *Atriplex halimus* L. sont légèrement supérieures à celles cultivées seules. Nos résultats sont identiques à ceux de **Zuccarini (2008)** qui a étudié le comportement des plantes de la tomate conduites en conditions salines et associées à des halophytes (*Portulaca oleracea* L., *Atriplex hortensis* L. et *Salsola soda* L.) ce dernier a signalé que L'absorption de K^+ est considérablement réduite dans tous les traitements salins par rapport au témoin non salin et que les plantes de la tomate cultivées en associations à ces halophytes enregistrent les plus haute concentrations de K^+ que les plantes de la tomate cultivées seules sur sol salin.

Almeida et al. (2014) suggèrent que la tolérance à la salinité chez la tomate est souvent associée aux capacités particulières de maintenir une teneur élevée en K^+ .

Selon des données indiquées, il a été montré que la plupart des cations saisissent les cellules des plantes par un processus actif. Pour les glycophytes, il est admis que le K^+ est passivement distribué à travers le tonoplaste et passivement ou activement transporté vers l'intérieur à travers la membrane plasmique. Cependant, il ya également peu de rapports qui

suggèrent l'exclusion active du potassium (Hodges, 1973). Le Na^+ semble être sécrété activement du cytoplasme à l'extérieur et activement ou passivement transporté dans la vacuole. Il ya aussi quelques rapports qui suggèrent un afflux actif de Na^+ dans les racines de glycophytes (David et al., 1985).

Dans les feuilles et les racines de la tomate, nous avons enregistré une corrélation positivement significative entre la salinité et le taux de Na^+ . Par contre, le Na^+ est négativement corrélé avec les quantités de K^+ accumulé ; selon Hassani et al. (2008) ; Chorfi (2009) et Taffouo et al., (2009), le taux élevé de Na^+ et le taux faible de K^+ lors du stress salin quel que soit la concentration en sel du substrat met en évidence l'antagonisme de ces deux cations.

D'autre part, les concentrations salines élevées réduisent l'absorption et le transport du Calcium, en effet une régression remarquable des teneurs en Ca^{2+} a été enregistré dans les parties aériennes et racinaires des plantes de la tomate conduites en condition de salinité.

En présence des sels, les plantes de la tomate intercalées par l'*Atriplex halimus* n'ont pas été influencées de la même façon que celles cultivées seules. Où une augmentation des taux de calcium est marquée en présence de l'*Atriplex halimus*. Ces résultats sont en accord avec ceux de Graifenberg et al. (2003) qui ont montré qu'une teneur plus élevée en Ca^{+2} a été observée dans les feuilles de tomate en présence de plantes compagnes (halophytes) soumises à un stress salin

Le calcium joue un rôle vital dans la tolérance au stress salin puisqu'il induit les activités des enzymes anti-oxydantes et réduit la peroxydation des lipides des membranes cellulaires sous stress abiotiques (Jiang et Huang, 2001 ; Khan et al., 2010) il supprime directement les symptômes produits par les toxicités minérales (Atou et al., 2020)

➤ Paramètres du système antioxydant

les cellules disposent d'un système antioxydant enzymatique et non enzymatique pour neutraliser les radicaux libres qui sont toxiques pour la vie cellulaire (Benkaddour et al., 2013).

Durant notre expérimentation, Les résultats des paramètres enzymatiques enregistrés, ont dévoilé une augmentation de l'activité de la peroxydase et de la catalase proportionnellement avec la sévérité du stress salin

L'activité catalase chez les racines de la tomate cultivée sur sol salin montre que le sol salé stimule celle-ci pour un taux maximum cependant que les fortes concentrations (sol très salé et extrêmement salé) provoquent une chute de la synthèse de cette enzyme. Des études analogues ont montré, que le traitement des plantes par des solutions salines a induit une

diminution de cette activité chez la tomate (Doudech et al., 2008) et aussi chez le blé notamment avec la dose de 300M de NaCl. Par contre, la dose de 150M a stimulé cette activité (Burcu et al., 2010 ; Sairam, 2002 ; Ashraf et al., 2012).

L'exposition des plantes de la tomate au sol extrêmement salé a entraîné une réduction notable de l'activité peroxydase au niveau aérien et racinaire. Cette chute est peut être due à un dysfonctionnement de système de défense enzymatique à cause de l'exposition aux fortes concentrations de sels en effet Mahajan et Tuteja (2005) rapportent qu'une perte trop importante de la turgescence entraîne une déstructuration des membranes et systèmes enzymatiques.

En situation de stress, les plantes développent des systèmes enzymatiques antioxydants (Dalyan et al., 2020) qui jouent un rôle essentiel dans la physiologie de la plante et sont impliquées dans la réponse des plantes aux stress environnementaux (Benkaddour et al., 2013) La catalase (CAT) est parmi ces enzymes qui jouent un rôle important dans la transformation et l'élimination du peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) en (H_2O) (Benkaddour et al., 2013). De même, les peroxydases jouent de grands rôles dans la croissance, le développement et le système de défense des plantes. (Tognolli et al., 2002).

Concernant les composés phénoliques étudiés durant notre expérience qui sont les phénols totaux et les flavonoïdes, leur production est généralement stimulée par une augmentation de stress salin à lequel les plantes de la tomate sont exposées. Achakzai et al. (2009) suggèrent que les composés phénoliques peuvent être utilisés comme indicateur de stress, leurs teneur étant généralement augmentée suite à l'exposition à des substances chimiques toxiques ou autres facteurs de stress (Achakzai et al., 2009). De même Bennani et Bendaou (2015) ont trouvé que l'irrigation par l'eau saline, a eu un effet sur l'accumulation croissante des polyphénols dans les plantes de trifolium.

Nos résultats montrent que la présence de l'*Atriplex halimus* L. en intercalaire de la tomate n'a pas un effet significatif sur la teneur de cette dernière en phénol totaux en condition de témoin et même en présence de la contrainte saline.

Les composés phénoliques sont impliqués dans de nombreux processus physiologiques chez les plantes, tels que la reproduction, la croissance et la défense contre les différents facteurs biotiques et abiotiques (Achakzai et al., 2009). En effet, Les flavonoïdes sont considérées comme des pigments quasi universels des végétaux qui peuvent participer dans les processus photosynthétiques (Mukohata et al., 1978), dans la régulation de gènes et dans le

métabolisme de croissance (Havsteen, 2002). il agissent comme des agents réducteurs, donneur d'hydrogène en piégeant les radicaux libres et en chélatant les ions (Valko et al., 2006). Selon Gogbeu et al. (2019) une quantité importante de phénols dans les organes de riz contribuerait à l'acclimatation de la plante au stress salin.

II. EFFET DE STRESS SALIN SUR *Atriplex halimus* L.

➤ Paramètres biométriques

Le stress salin a provoqué une progression des hauteurs des tiges de l'*Atriplex halimus* L. une meilleur croissance en longueur a été enregistré chez les plantes cultivées sur sol très salé avec une progression de 14,26 % par rapport au témoin non stressé à la salinité.

La présence de 5 ou 10 g de NaCl dans le milieu de culture des jeunes plantules d'*Atriplex* paraît parfois bénéfique sinon sans effet sur le paramètre longueur de tige ce qui pourrait refléter l'expression du caractère halophile des *Atriplex*. Cette stimulation de la croissance pourrait s'expliquer par une pénétration plus aisée dans la plante des ions Na^+ et Cl^- qui abaissent le potentiel osmotique interne et favorisent ainsi une entrée plus rapide de l'eau. (Bouda et Haddioui, 2011). En fait l'amélioration des hauteurs des parties aériennes des plantes de l'*Atriplex halimus* L. conduites en conditions de stress salin peut aussi prédire leur tolérance à cette contrainte abiotique.

Concernant le nombre des feuilles, l'effet général de la salinité se traduit par une réduction de nombre des feuilles des plantes de l'*Atriplex halimus* L. exposées à la contrainte saline. Cette réduction est d'autant plus importante que la contrainte saline est plus sévère. Cependant que pour la surface foliaire les résultats sont contradictoires on enregistrant une progression des surfaces foliaires des plantes de l'*Atriplex halimus* L. au fur et à mesure avec la sévérité du stress salin. Des constatations conformes ont été trouvées par Ben Khaled et al. (2007) sur le blé dur, ces derniers ont trouvé qu'en présence de NaCl dans le milieu de culture, le nombre de feuilles par plante est réduit en fonction de l'augmentation de la concentration en sel et par Zaki et al. (2009) qui ont noté une réduction du nombre de feuilles développées par plante chez les plantes de fenouil et que cette réduction est devenue plus importante avec la sévérité du traitement

Le stress salin peut réduire la croissance des plantes en raison du manque d'eau, de la toxicité ionique, du déséquilibre ionique ou d'une combinaison de tous ces facteurs (Saeed et al., 2011). Par ailleurs, les effets de la salinité (en plus d'un effet toxique dû aux ions Na^+ et Cl^-) sont très semblables à ceux de la sécheresse ; ce qui se traduit par des adaptations de la

plante qui cherche à réduire ses pertes d'eau et à maintenir ses fonctions vitales (Zraibi *et al.*, 2012).

La réduction de la croissance est une capacité adaptative nécessaire à la survie d'une plante exposée à un stress abiotique. En effet, ce retard de développement permet à la plante d'accumuler de l'énergie et des ressources pour combattre le stress avant que le déséquilibre entre l'intérieur et l'extérieur de l'organisme n'augmente jusqu'à un seuil où les dommages seront irréversibles (Karoune *et al.*, 2017).

➤ Paramètres physiologiques

Nos résultats concluent que les teneurs en chlorophylle a, chlorophylle b et chlorophylle totale, varient avec le niveau de salinité du sol. En effet ces valeurs sont maximales chez les plantes de l'*Atriplex halimus* L. cultivées sur sol salé. De ce fait ces constatations rapportent qu'une salinité modérée augmente la quantité de la chlorophylle (a) et de la chlorophylle totale (a+b). Cependant que une chute significative de la chlorophylle a et chlorophylle b a été enregistré chez les plantes de l'*Atriplex halimus* L. exposées à des fortes concentrations des sels (sol très salé et extrêmement salé). Ces résultats sont en accord avec ceux de Sharaf *et al.* (1990) sur la tomate ; de Sai kachout *et al.* (2009) sur l'*Atriplex hortensis* et de Brinis et Belkhodja (2015) sur l'*Atriplex halimus*.

Comparant ces deux pigments chlorophylliens a et b, il paraît d'après notre étude que la teneur en chlorophylle a est moins sensible au stress salin que la teneur en chlorophylle b. ces mêmes résultats sont reportés par Djahra *et al.* (2015) chez le blé dur.

Les stress environnementaux ont un impact direct sur l'appareil photosynthétique, en perturbant essentiellement tout composant majeur de la photosynthèse, y compris le transport d'électrons de thylacoïdes, le cycle de réduction du carbone et le contrôle stomatique de l'approvisionnement en CO₂ (Allen and Ort, 2001) en effet, La réduction de la chlorophylle a est peut être liée à la sensibilité d'une des étapes de sa biosynthèse au chlorure de sodium (El Iklil *et al.*, 2002)

La teneur relative en eau des feuilles c'est un indicateur de l'état hydrique des plantes. C'est un paramètre important qui nous renseigne sur l'état hydrique de la plante. Notre étude démontre que le stress salin influence les échanges en eau des plantes étudiées ce qui est expliqué par l'effet dépressif de la salinité sur la TRE foliaire.

Nos résultats révèlent que les plantes de l'*Atriplex halimus* L. répondent par une diminution significative de la teneur relative en eau foliaire sous le stress salin croissant par

rapport aux plantes témoins. Ce qui semble être un comportement de résistance au stress salin. Nos résultats sont conformes avec ceux d'Albouchi *et al.* (2003) qui ont également démontré que le stress salin influence le statu hydrique de *Casuarina glauca*, en réduisant leur contenu relatif foliaire en eau. Ce dernier est liée à l'absorption de l'eau par les racines et la perte d'eau par la transpiration (Anjum *et al.*, 2011).

La turgescence varie inversement avec le taux de salinité ; lorsque la salinité du milieu augmente, la teneur relative en eau diminue (Bissati *et al.*, 2011) ce qui est le cas dans notre étude et d'autres travaux comme ceux de Bissati *et al.* (2011) sur *Atriplex halimus* et *Atriplex canescens*, de Mehani *et al.* (2012) sur *Atriplex canescens*. Cependant selon les travaux de Nedjimi (2010), l'*Atriplex halimus* présente une bonne hydratation de ses tissus en présence du sel dont le statut hydrique de la partie aérienne montre que la turgescence augmente avec l'augmentation de la concentration saline.

Nos résultats montrent que la teneur en proline mesurée chez les plantes de l'*Atriplex halimus* L. varie en fonction des concentrations de sels existants dans le milieu de culture des plantes et de l'organe étudié. Elle augmente dans les deux parties étudiées au fur et à mesure que la sévérité du stress salin augmente. Nedjimi (2010) a également montré que La proline est accumulé en quantités relativement proportionnelles aux concentrations salines chez les plantes de l'*Atriplex halimus* L. En accord avec nos résultats, les travaux de Hadjadj *et al.* (2010) ont montré que Les plantes d'*Atriplex halimus* L. et *Atriplex canescence* L. arrosées à l'eau de mer, manifestent une accumulation de proline dans le système foliaire nettement supérieure à celles des plantes non stressées.

Le même résultat a été trouvé par Belfakih (2013) qui a montré que les teneurs en proline augmentent dans tous les feuilles et les racines des plantes de bananier avec l'importance du sel dans le milieu de culture.

Il faut signaler aussi que d'après notre étude pour tous les niveaux de salinité, les taux de proline sont plus élevés dans les feuilles des plantes que dans leurs racines pour les lots traités et même pour le témoin. Belfakih (2013) montre aussi que les feuilles du bananier sont plus riches en proline que les racines, aussi bien dans les conditions témoins que dans les conditions de salinité. Cet acide aminé est concentré préférentiellement dans les feuilles à des teneurs significatives (Djerroudi, 2010). L'accumulation de la proline chez diverses espèces de plantes stressées a été corrélée à leur capacité de tolérance, et sa concentration est généralement plus élevée chez les plantes tolérantes que les plantes sensibles (Ashraf et Foolad, 2007). Chez

l'*Atriplex halimus* L. **Hadjadj et al. (2010)** ont suggéré que ce paramètre physiologique est un indicateur important de la tolérance de cette espèce à la salinité.

Ces osmotocums participent à l'ajustement osmotique des cellules du végétal en conditions salines (**Nedjimi, 2010**) en diminuant le potentiel hydrique favorisant ainsi l'absorption d'eau malgré la présence du sel dans le sol. L'accumulation de proline observée dans le cas de stress salin chez plusieurs espèces (**Ashraf et Foolad, 2007; Nagesh Babu et Devaraj, 2008; Tammam et al., 2008**), à part son rôle d'osmoticum, contribuerait à la stabilisation des structures subcellulaires, au piégeage des radicaux libres et jouerait le rôle de tampon dans la régulation du potentiel redox sous stress (**Ashraf et Foolad, 2007**).

Concernant les sucres solubles, Les résultats ont montré une augmentation relative des teneurs de cet osmoprotecteur au niveau des parties aériennes et racinaires en fonction de l'accroissement de la salinité dans le milieu de culture des plantes. En accord avec nos résultats les travaux de **Nedjimi (2010)** réalisés sur les plantes de l'*Atriplex halimus* L. ont montré que les sucres totaux sont accumulés en quantités relativement proportionnelles aux concentrations salines.

Les fortes concentrations des sucres solubles ont été enregistrées dans les feuilles des plantes que dans les racines. Les mêmes résultats ont été dégagés par les travaux de **Gogbeu et al. (2019)** sur Les riz. De même, **Sebane (2015)** a observé dans son étude sur le pourpier de mer (*Atriplex halimus*) une forte accumulation des sucres totaux dans les feuilles que dans les racines en condition de stress salin.

L'accumulation des sucres est suggérée comme indice de résistance au stress salin (**Muuns et al., 2006**). En effet, ils jouent un rôle essentiel dans la protection des membranes contre la déshydratation (**Schwab et Gaff, 1986**).

➤ Paramètres chimiques

Nos résultats concernant le bilan minéral des plantes de l'*Atriplex halimus* L. concluent que les teneurs en Na^+ , K^+ et Ca^{2+} varient en fonctions de l'évolution de la salinité du milieu de culture. Sous stress salin le sodium varie différemment que le potassium et le calcium. En effet, le Na^+ augmente significativement sous l'effet du stress salin. Les teneurs en K^+ et en Ca^{2+} ont par contre subit une diminution en fonction de l'augmentation de la salinité du sol. Des résultats similaires ont été trouvés par **Nedjimi (2010)** qui a montré que chez l'*Atriplex halimus* l'augmentation de la concentration des sels dans le milieu de culture provoque une augmentation de la teneur du Na^+ , et une diminution des teneurs des Ca^{2+} et K^+ .

L'accumulation des ions Na^+ affecte l'absorption de K^+ et ceci en fonction de la concentration du premier élément, cependant, la présence de Na^+ en faible concentration peut augmenter l'absorption de K^+ (Haouala et al., 2007) de même, Les concentrations salines élevées réduisent l'absorption et le transport du Calcium, induisant une déficience en calcium et un déséquilibre dans la plante (Cramer et al., 1986).

pour tous les niveaux de salinité et même pour le témoin non salin, ces trois éléments sont plus présentés dans les tissus foliaires que racinaires de l'*Atriplex halimus* L. ces résultats concordant avec les travaux de Nedjimi et Daoud (2008) qui ont montré que chez les plantes d'*Atriplex halimus* stressées par le NaCl, Il s'avère que pour tous les traitements, les teneurs en Na^+ enregistrées sont plus importantes au niveau de la partie aérienne que racinaire

Les espèces tolérantes et en particulier les halophytes accumulent des quantités importantes de sodium dans la partie aérienne, alors que les racines sont moins riches en Na^+ que les feuilles (Flowers et Clomer, 2008 ; Atia et al., 2011).

Chez le piment, Les observations montrent que le Na^+ reste prédominant dans les feuilles, alors que l'ion K^+ est légèrement présent avec des quantités plus ou moins importantes uniquement dans les feuilles des plantes témoins (Bouassaba et Chougui, 2018). Cette caractéristique ionique se rencontre généralement chez les espèces ou la teneur élevée en K^+ est liée à la tolérance à la salinité (Asins et al., 2012).

➤ Paramètres du système antioxydant

Les formes actives d'oxygène, telles que le peroxyde d'oxygène (H_2O_2), les radicaux superoxydes (O_2^-) et hydroxyl (OH), sont produites au cours des processus cellulaires aérobie et de façon plus accrue suite aux stress abiotiques, notamment la salinité (Foyer et Noctor, 2000; Hernández et al., 2001; Apel et Hirt, 2004; Logan, 2005). La détoxification des ROS constitue un élément clé de la défense des plantes. Les agents responsables de cette détoxification sont nommées enzymes antioxydantes, parmi lesquelles on peut citer : le superoxyde dismutase (SOD), la catalase (CAT), peroxydase (POD) et des enzymes du cycle ascorbate-glutathion...etc (Benkaddour et al., 2013). L'augmentation de l'activité de ces enzymes est en relation avec la tolérance des plantes à la salinité (Demiral et Turkan, 2005)

En condition de stress salin, Les plantes de l'*Atriplex halimus* ont présenté une augmentation de l'activité peroxydase par rapport au témoin, cette activité enregistre une chute remarquable dans les plantes cultivées sur sol extrêmement salé. Ces résultats sont en accord avec ceux de Mahi et al. (2015) qui ont montré que l'activité peroxydase est significative avec

l'augmentation du stress salin chez les plantes de l'*Atriplex canescens*.

Selon **Zhu et Scandalios (1994)** et **Noctor et Foyer (1998)**, la tolérance au sel semble être liée à une augmentation de la capacité antioxydante impliquée dans la détoxification des espèces d'oxygènes réactives (ROS).

Comparant les deux parties de la plante, l'activité peroxydase est plus importante dans les racines des plantes que dans les tiges. Les mêmes résultats ont été présentés par **Mahi et al. (2015)** sur l'*Atriplex halimus* L. et l'*Atriplex canescens*.

Concernant l'activité catalase, c'est le sol salé qui a stimulé la grande quantité de cet enzyme par rapport aux autres traitements. Un résultat similaire a été signalé par **Bouchenak et al. (2015)** qui ont montré que les plantules de l'*Atriplex halimus* exposées à 300 Mm de NaCl présentent une activité de catalase supérieur aux plantules exposées à 600 Mm de NaCl et même aux témoins.

L'exposition des plantes de l'*Atriplex halimus* L. à la contrainte saline induit une augmentation de la synthèse des phénols totaux et des flavonoïdes. Selon **Haghighi et al. (2012)** La teneur en flavonoïdes chez *Plantago ovata* augmente en présence d'un stress salin. Dans le même contexte **Gogbeu et al. (2019)** ont montré que Lorsque les plantes de riz (*Oryza sativa* L) sont stressées par le NaCl, la quantité des composés phénoliques a également augmenté.

L'accumulation de ces composées en réponse au stress salin confirme leur rôle dans l'atténuation des dommages de NaCl sur les plantes. Chez les plantes de façon générale, l'acclimatation des espèces est liée à la synthèse et à l'accumulation d'un certain nombre de composés entre autres les sucres totaux et les composés phénoliques (**Gogbeu et al., 2019**). Quant aux composés phénoliques, plusieurs études ont montré que leur synthèse pendant les conditions de stress participe à la résistance ou l'acclimatation des plantes (**Clériver et al., 1996**). ces composés peuvent empêcher les dommages oxydatifs (**Hodek et al., 2002**) ils constituent le groupe principal qui contribue à l'activité antioxydante des végétaux (**Tachakittirungrod et al., 2007**).

III. SYSTEME SOL *Lycopersicum esculentum* MILL. ET *Atriplex halimus* L.

De nombreux auteurs ont signalé des effets négatifs de la salinité sur la croissance et le développement de la tomate ((**Mizrahi, 1982** ; **El-Iklil et al., 2001** ; **Ould Mohamdi et al.,**

2011 ; Boutahraoui et al., 2017). En effet, Boutahraoui et al. (2017) ont constaté que Les plants de la tomate alimentés avec une solution saline présentent la hauteur finale des plants la plus faible, de même Ould Mohamdi et al. (2011) ont suggéré une réduction des teneur en pigments chlorophylliens des plantes de la tomate exposées à la contrainte saline.

Dans la présente étude nous avons trouvé que la présence de sel dans le milieu de culture des plantes de la tomate constitue une entrave importante à la croissance de ces plantes. En effet, nous avons observé une diminution nettement significative de tous les paramètres de croissance de la tomate cultivée en conditions de salinité. Tandis que la présence de l'*Atriplex halimus* L. en intercalaire de la tomate a permis d'augmenter la résistance de cette dernière vis-à-vis le stress salin. Cette résistance est traduite par l'amélioration, en condition salin, de la croissance de la tomate conduite en intercalaire de l'*Atriplex halimus* par rapport à celle cultivée seule. Ce qui pourrait être lié au fait que Le Na^+ s'accumule généralement à des niveaux plus élevés dans les pousses des halophytes qui utilisent également les processus d'excrétion pour éliminer l'excès d'ions toxiques nuisibles des tissus photosynthétiquement actifs. Dans le genre *Atriplex*, les feuilles possèdent les trichomes qui accumulent des fortes concentrations de Na^+ et Cl^- et puis s'éclatent, laissant les cristaux de sel à la surface des feuilles. Les trichomes sont produits continuellement pendant la durée de la vie de la feuille (choi et al., 2001). Cette capacité de l'*Atriplex* de survivre sur des sols extrêmement salé, de développer des mécanismes de tolérance contre les ions toxiques causés par la salinité et son pouvoir d'accumuler des quantités importantes de Na^+ et Cl^- ; lui permet de modérer la salinité des sols et par suite fournir un milieu adéquat pour une bonne croissance des plantes de la tomate avec lesquelles elle est associée. Zuccarini (2008) suggère que L'association avec les halophytes est une stratégie prometteuse pour faire face à la salinisation des sols et de l'eau. L'absorption et l'accumulation de sel effectuées par les halophytes peuvent réduire la sévérité du stress au niveau rhizosphérique, offrant de meilleures conditions pour la croissance des espèces agricoles et, en conclusion, améliorer le rendement (Zuccarini, 2008) parmi eux les *Atriplex* peuvent tolérer jusqu'à 45g/l de NaCl. Ils peuvent valoriser les sols pauvres et dégradés, comme ils peuvent déssaliniser les sols salés (Le Houerou et Pontanier, 1988).

Nos résultats suggèrent une meilleure croissance des plantes de la tomate associée à l'*Atriplex halimus* L. que celles cultivées seule. Cette amélioration de la croissance est expliquée par le fait que l'*Atriplex halimus* a réduit les effets négatifs du Na^+ sur les plantes de la tomate. En effet des quantités importantes du sodium ont été enregistrées dans les parties aériennes des plantes de l'*Atriplex halimus* exposées au stress salin. Ces quantités

progressent au fur et à mesure que la salinité du sol augmente. De ce fait la teneur maximale en Na^+ est enregistrée dans les parties aériennes des plantes de l'*Atriplex halimus* L cultivées sur sol extrêmement salé avec une valeur de 23,1 mg/100 g de M.S. et avec une différence de 70,35 % par rapport aux plantes témoins.

Cette suggestion est confirmée par les résultats de l'étude de l'évolution de la conductivité électrique et des taux de Na^+ dans les échantillons du sol avant et après l'installation des cultures. Ces résultats montrent une régression remarquable de C.E. et Na^+ des solutions des sols cultivés par l'*Atriplex halimus* L. par rapport aux sols non cultivés. les variations les plus remarquable de la CE et de Na^+ du sol sont enregistrées pour le sol extrêmement salé cultivé par la tomate intercalée par l'*Atriplex halimus* (T+A) avec une réduction de CEs de 41,56% par rapport au sol non cultivé et de 32,26% par rapport au sol cultivé seulement par la tomate (T) et une réduction de Na^+ de 46,72 % par rapport au sol non cultivé et de 35,96 % par rapport au sol cultivé seulement par la tomate (T). Des résultats similaires ont été dégagés par les travaux de Zuccarini (2008), ce dernier a montré que les valeurs de CE de l'extrait saturé à la fin de l'essai sont plus bas dans les substrats cultivés par la tomate et les plantes halophytes que dans ceux cultivés seulement par la tomate.

Etant donné de l'antagonisme qui existe entre le sodium et le potassium et entre le sodium et le calcium, les fortes concentrations des sels dans le sol et précisément le Na^+ provoque un déséquilibre ionique et empêche l'absorption de Ca^{2+} et K^+ . Deux éléments minéraux indispensables au bon fonctionnement de la plante. La réduction des teneurs en Na^+ dans ces sols a permet une bonne absorption des ions K^+ et Ca^{2+} par les plantes de la tomate y cultivées. En effet les quantités de K^+ et Ca^{2+} accumulées dans les parties aériennes des plantes de la tomate intercalées par l'*Atriplex halimus* sont plus importante que celles accumulées dans les plantes de la tomate cultivées seule. Les différences maximales enregistrées sont de l'ordre de 14,36% pour le K^+ et 19,87 pour le Ca^{2+} respectivement pour le sol peu salé et extrêmement salé. Par conséquence, l'amélioration de la croissance obtenue dans la culture de tomates intercalée par l'halophyte *Atriplex halimus* L. sous stress salin est peut être dû à une réduction de l'absorption de Na^+ et à une augmentation de l'absorption de k^+ et de Ca^{2+} . Des résultats similaires ont été signalés par Graifenberg et al. (2003) qui ont suggéré que Le rendement plus élevé obtenu chez les plantes de la tomate conduites avec des plantes compagnes halophytes (*Salsola soda* L. et *Portulaca oleracea* L.) sous stress salin peut être dû à une réduction de l'absorption de Na^+ et à une augmentation de l'absorption de P et de Ca^{2+} .

Macsimovic et al. (2010) montre que le Na^+ semble influencer sur l'arrêt de

l'absorption de K^+ . Alors que l'*Atriplex halimus* est caractérisé par une forte capacité d'absorption et une accumulation préférentielle du chlore et du sodium dans les feuilles (Hamza, 1980) Et par suite une atténuation des concentrations du sodium dans le milieu de culture des plantes de la tomate ce qui permet une meilleure absorption du potassium et du calcium qui se traduit par l'amélioration des paramètres de croissance de ces plantes associées à l'*Atriplex halimus*.L.

Ainsi, la combinaison entre la réduction de la teneur en sodium et l'augmentation de la teneur en potassium est nécessaire pour avoir un meilleur effet améliorateur sur la croissance des plantes d'amarante (Atou et al., 2020).

Ces deux ions jouent un rôle important dans le métabolisme des plantes. en faite Le calcium joue un rôle vital dans la tolérance au stress salin puisqu'il induit les activités des enzymes anti-oxydantes et réduit la peroxydation des lipides des membranes cellulaires sous stress abiotiques (Jiang et Huang, 2001 ; Khan et al., 2010) et Le potassium joue un rôle dans la régulation d'activité enzymatique, la synthèse de protéines, la photosynthèse et l'homeostasie du pH cytoplasmique, le contrôle des échanges gazeux par les mouvements d'ouverture et de la fermeture des cellules de grades des stomates (Jabnoue, 2008) il favorise la synthèse des glucides et participe au transfert de ceux-ci vers les organes de réserve. Ce qui lui permet de conférer aux plantes une meilleure résistance aux différents stress (Benrebiha et al., 2012).

Les effets de l'association avec les plantes halophytes sont dans l'ensemble encourageants car une tendance générale à l'atténuation des conditions de stress chez les plantes de la tomate peuvent être détectée (Albaho et Green, 2000; Graifenberg et al., 2003 ; Zuccarini, 2008).

L'étude de cette technique sur le terrain est également importante car elle représente le type d'application qui est le plus susceptible de se produire dans les régions plus touché par le problème de la salinité (Zuccarini, 2008).

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION

La présence des fortes concentrations des sels dans le milieu de culture de la tomate *Lycopersicum esculentum* Mill constitue une entrave importante à sa croissance. En effet, une réduction notable des indicateurs morphologiques, physiologiques, chimiques et enzymatiques a été remarquée. Cette diminution est variable en fonction de l'intensité du stress salin de la partie du végétal étudiée et de la présence ou non des plantes de l'*Atriplex halimus* L. comme culture intercalaire.

Dans cette étude qui contribue à évaluer l'effet de la salinité croissante sur le développement de la tomate associée en intercalaire avec l'*Atriplex halimus* L., les résultats obtenus sur le plan morphologique ont montré une diminution de la croissance de la tomate. Cette diminution est exprimée par la réduction de la longueur des tiges, des nombres des feuilles et nombres des fruits et de la surface foliaire. Elle devient de plus en plus importante avec la sévérité du stress salin.

Les résultats obtenus concernant les paramètres physiologiques révèlent que les grandeurs de l'ensemble de ces paramètres se trouvent affectées face à l'accroissement de la contrainte saline. De ce fait, la teneur relative en eau et la teneur en chlorophylle ont subi une réduction significative avec la progression de la salinité du sol.

La confrontation de la tomate au stress salin se traduit par une accumulation accrue des osmorégulateurs étudiés, la proline et les sucres solubles. Ce comportement est considéré comme un moyen de tolérance développé par les plantes afin de supporter la sévérité du stress salin et de minimiser les dégâts intracellulaire.

Concernant le bilan minéral des plantes, nos résultats ont dévoilé que le Na^+ s'accumule d'avantage dans les plantes cultivées sur sols salés. Cette accumulation est proportionnelle avec le niveau de salinité et inversement proportionnelle avec les taux de K^+ et Ca^{2+} enregistrés dans les mêmes plantes.

Selon nos constatations, le stress salin déclenche l'activité antioxydante enzymatique et non enzymatique en enregistrant des valeurs croissantes de l'ensemble de ces paramètres étudiés.

La tomate cultivée en intercalaire avec l'*Atriplex halimus* L. semble être moins sensible à la présence des sels par rapport à celle cultivée seule. Cette résistance se manifeste par l'amélioration des paramètres de croissance chez la tomate en association avec l'*Atriplex halimus* L.

CONCLUSION

D'après les résultats obtenus, nous constatons que la présence de l'*Atriplex halimus* L. en culture intercalaire avec la tomate joue un rôle important dans la résistance de cette dernière à la salinité en diminuant la sévérité du stress abiotique salin à lequel les plantes de la tomate sont exposées.

Cette diminution est traduite par les taux élevés de sodium marqués au niveau des parties aériennes des plantes de l'*Atriplex halimus* L. le caractère halophile de cette dernière lui permet de se développer sur des sols à salinité élevée, d'absorber le Na^+ et de le transférer vers ses parties aériennes.

Cette caractéristique de l'*Atriplex halimus* L. contribue à la déssalinisation des sols salés étudiés et offre des meilleures conditions pour une bonne croissance des plantes de la tomate avec lesquelles elle est associée en intercalaire. En effet elle offre un effet améliorateur sur la nutrition minérale au niveau des parties aériennes de ces plantes par la diminution de Na^+ et l'augmentation de K^+ par rapport aux plantes cultivées seules.

Recommandations

Ce travail de recherche ouvrira de nouvelles voies de recherche afin d'entrevoir de nombreuses perspectives d'expérimentations permettant de répondre à de telles problématiques.

Il serait intéressant pour la continuité de ce travail de proposer les perspectives suivantes :

Répéter l'expérimentation dans les mêmes conditions pour s'assurer des résultats obtenus.

Puis répéter l'expérimentation en introduisant d'autres espèces à différents niveaux de tolérance.

Faire un essai de culture intercalaire en plein champ durant plusieurs années en évaluant périodiquement la teneur en sodium des feuilles de l'*Atriplex halimus* et l'évolution de la CE du sol.

Utiliser les résultats de ce travail pour sensibiliser l'agriculteur de l'intérêt des plantes halophytes «*Atriplex halimus* L. » à remédier les sols salés et les inciter à les utiliser pour résoudre le problème de la salinité au lieu d'abandonner les sites salés.

Installer, sur les sols à salinité extrême, des plantes de l'*Atriplex halimus* L. pour y diminuer le taux des sels avant de cultiver des espèces agricoles.

Couper périodiquement la partie aériennes de ces halophytes, pour éliminer les sels absorbés

Avant de couper, une petite analyse de Na^+ et Cl^- , doit être effectuée pour s'assurer qu'une partie des sels a été absorbée à partir du sol et transférée vers les parties aériennes de l'*Atriplex halimus* L.

Les parties coupées de la plante doivent être éliminées et non pas être utilisées pour la phytothérapie ou pour aliment de bétails.

Mesurer la conductivité électrique du sol pour vérifier si le taux des sels est diminué et arrivé au niveau adéquat pour l'installation de la culture envisagée.

En cas de salinité modérée, installer une culture intercalaire entre l'*Atriplex halimus* L. et une plante agricole pour remédier le sol et se bénéficier du rendement au même temps.

Pour les cultures intercalaires, il faut choisir une plante qui a une certaine résistance à la contrainte saline pour éviter l'échec totale de la culture.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

- Abdel-Hameed, E. S. 2009.** Total phenolic contents and free radical scavenging activity of certain Egyptian Ficus species leaf samples. *Food Chemistry*. 114(4): 1271-1277.
- Abdelly, C. 2004.** Effet du déficit hydrique sur la croissance et l'accumulation de la proline chez *Sesuvium portulacastrum*. *Revue des régions Arides*. Tome 1, No. Spécial : 234-241.
- Aboura, R., Benmansour, D. et Benabadji, N. 2006.** Comparaison et phytoécologie des Atriplexaies en Oranie (Algérie). *Ecologia mediterranea*. 32 : 73-84.
- Achakzai, A.K.K., Achakzai, P., Masood, A., Kayani, S.A. and Tareen, R.B. 2009.** Response of plant parts and age on the distribution of secondary metabolites on plants found in Quetta. *Pak J Bot*. 41: 2129– 2135.
- Adams, P., Thomas, J.C., Vernon, D.M, Bonhert, H.J. and Jensen, R.G., 1992.** Distinct cellular and organismic responses to salt stress. *Plant. Cell. Phys.*33: 1215-1223.
- Agastian, P., Kingsley, S.J. and Vivekanandan, M. 2000.** Effect of salinity on photosynthesis and biochemical characteristics in mulberry genotypes. *Photosynthetica*, 38: 287–290.
- Aglinglo, L.A., Ahoudou, I., Lègba, E.C., Francisco, R.A., Fassinou Hotègni, N.V. et Achigan-Dako, E.G. 2018.** Fiche technique synthétique pour la production de la tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Laboratory of Genetics Horticulture and Seed Science (GBioS). 5 p.
- Ahmad, I., and Hellebust, J.A. 1988.** The relationship between inorganic nitrogen metabolism and proline accumulation in osmoregulatory responses of two euryhaline microalgae. *Plant Physiol*. 88(2): 348–354.
- Alamri, SA., Siddiqui, MH., Al-Khaishany, MY., Nasir Khan, M., Ali, HM., Alaraidh, IA. And Mateen, M. 2018.** Ascorbic acid improves the tolerance of wheat plants to lead toxicity. *J Plant Interact*. 13: 409-419.
- Albaho, M.S. and Green, J.L. 2000.** *Suaeda salsa*, A Desalinating Companion Plant for Greenhouse Tomato. *Hortscience*. 35(4): 620–623
- Albouchi, A., Bejaoui, Z. et Hedi El Aouni, M. 2003.** Influence d'un stress hydrique modéré ou sévère sur la croissance de jeunes plants de *Casuarina glauca* Sieb. Edit. Science et changements planétaires. *Sécheresse*. 14 (3): 137-142.

- Allen, D. J. and Ort, D. R. 2001.** Impacts of chilling temperature on photosynthesis in warm-climate plants. *Trends Plant Sci.* 6: 36–42. doi: 10.1016/s1360-1385(00)01808-2
- Anjum, S.A., Xie, X.Y., Wang, L.C., Saleem, M.F., Man, C. and Lei W. 2011.** Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African Journal of Agricultural Research* 6 (9): 2026-2032.
- Apel, K. and Hirt, H. 2004.** Reactive oxygen species: Metabolism, oxidative stress, and signal transduction. *Annu. Rev. Plant Biol.* 55 (1): 373–399.
- Apse, M.P. and Blumwald, E. 2007.** Na⁺ transport in plants. *FEBS Lett.* 581(12): 2247–2254. doi:10.1016/j.febslet.2007.04.014. PMID:17459382.
- Arbaoui, M., Benkhalifa, M. et Belkhodja, M. 2000.** Réponses physiologiques de quelques variétés de blé dur à la salinité au stade juvénile. In : Royo C. (ed.), Nachit M. (ed.), Di Fonzo N. (ed.), Araus J.L. (ed.). *Durum wheat improvement in the Mediterranean region: New challenges*. Zaragoza : CIHEAM, 2000. p. 267-270 (Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 40).
- Ashraf, M A., Ashraf, M. and Shahbaza, M. 2012.** Growth stage-based modulation in antioxidant defense system and proline accumulation in two hexaploïdes wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars differing in salinity tolerance. *Flora.* 207: 388– 397.
- Ashraf, M. 2008.** Biotechnological approach of improving plant salt tolerance using antioxidants as markers. *Biotechnol. Adv.* 27(1): 84–93.
- Ashraf, M. and Foolad, M. R. 2007.** Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environ. Exp. Bot.* 59: 206- 216.
- Ashraf, M. and Harris, P.J.C. 2004.** Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. *Plant Sci.* 163 : 3-16.
- Asins, JM., Villalta, I., Aly, M.M., Olias, R., Alvarez, M.P., Huertas, R., Li, J., Jaime-Perez, N., Haro, R. and Raga, V. 2012.** Carbonell EA, Belver A. Two closely linked tomato HKT coding genes are positional candidates for the major tomato QTL involved in Na⁺/K⁺ homeostasis. *Plant, Cell and Environment.* 36:1171–1191.
- Asloum, H. 1990.** Elaboration d'un système de production maraîchère (Tomate, *Lycopersicum esculentum* L.) en culture hors sol pour les régions sahariennes. Utilisation de substrats sableux et d'eaux saumâtres. Thèse de doctorat, développement et amélioration des

végétaux, Université de Nice Sophia- Antipolis: 24- 32.

Atia, A., Smaoui, A., Barhoumi, Z., Abdelly, C. and DEBEZ, A. 2011. Differential response to salinity and water deficit stress in *polypogon monospermis* L. Desf. Provenances during. *Plant Biol.* 13: 541-600.

Atou, R., Henry E., Mensah, A. C. G., Gouveitcha, B. G., Loko, B., Wouyou, A. D., Komlan, F. A. and Gandonou, C. B. 2020. Effet améliorateur d'un apport extérieur de calcium et de potassium sous différentes formes sur la tolérance à la salinité de l'amarante (*Amaranthus cruentus* L.). *J. Appl. Biosci.* 146: 15025 – 15039.

Auge, R., Beauchsne, G., Boccon Gibod, J., Decourtye, L., Digat, B., Jalouzot, R., Morand, J-CI., Reynoird, J.P., Strull, D.G et Vidalie, M. 1986. La culture in vitro et ses applications horticoles. Techniques et documentations. Ed. Lavoisier, 256p.

Aylaji, M., El.Kbir, L., Kabil, M. et Ouaka, A. 2001. Impact de la salinité de l'eau sur la qualité du sol et la betterave à sucre *Beta-vulgaris* l. *Revue Francophone D'écologie Industrielle.* 24 : 23-27.

Bankaji, I. et Sleimi, N. 2012. Polymorphisme biochimique chez quelques halophytes autochtones du nord Tunisien. *Rev. Écol. (Terre Vie)* 67: 29-39.

Baptista, F.J., Bailey, B.J. and Meneses, J. F. 2012. Effect of nocturnal ventilation on the occurrence of *Botrytis cinerea* in Mediterranean heated tomato greenhouses. *Crop Protection.* 32 : 144-149.

Barber, S. and Stanley, A. 1995. Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach. 2nd ed. New York: Wiley and Sons.

Barrs, H.D. and Weatherley, P.E. 1962. A Re-Examination Of The Relative Turgidity Technique For Estimating Water Deficits In Leaves. *Australian Journal of Biological Sciences.* 15(3): 413 – 428.

Bartels, D. and Nelson, D. 1994. Approaches to improve stress tolerance using molecular genetics. *Plant Cell Environ.* 17: 659–667.

Bartels, D., and Sunkar, R. 2005. Drought and salt tolerance in plants. *Crit. Rev. Plant Sci.* 24(1): 23–58.

Belfakih, M., Ibriz, M. et Zouahri, A. 2013. Effet de la salinité sur les paramètres morphophysologiques de deux variétés de bananier (*Musa acuminata* L.). *Journal of Applied*

Biosciences 70:5652– 5662.

Belkhodja, M. et Bidai, Y. 2004. Réponse de la germination des graines d'*Atriplex halimus* L. sous stress salin. *Revue Sécheresse*. 15 (4): 331-335.

Bellinger, Y., Bensaoud, A. and Larher, F. 1989. Physiology breeding of winter cereals for stress environments. Colloque, N°3, Montpellier, France.

Ben Ahmed, H. Mimouni H., Manaa A. et Zid E. 2010. L'acide salicylique améliore la tolérance de la tomate cultivée (*Solanum lycopersicum*) à la contrainte saline. *Acta Bot. Gallica*. 157 (2) :361-368,

Ben Ahmed, H., Zid, E., El Gazzah, M., et Grignon, C. 1996. Croissance et accumulation ionique chez *Atriplex halimus* L. Cahier "Agricultures".5: 365-372.

Ben Hassine, A. et Bouzid, S. 2008. Evaluation des capacités de résistance d'*Atriplex halimus* L. face au cadmium. *Geo-Eco-Trop*. 32: 17 – 20.

Ben Khaled, L., Ouarraqi, E. M. et Zid, E. 2007. Impact du NaCl sur la croissance et la nutrition de la variété de blé dur Massa cultivée en milieu hydroponique. *Acta Bot. Gallica*. 154 (1): 101-116.

Ben Miled, D., Bousaid, M. et Adblkeffi, A. 1986. Colloque sur les végétaux en milieu aride. Djerba 8- 10 sept. 1986. Fac. Sci. de Tunis ept. ACCTT 586.

Benabadji, N. 1999. Physionomie, organisation et composition floristique des Atriplexaies au Sud de Tlemcen, Chott El-Gharbi (Algérie). *Atriplex in vivo. Orsay Paris Sud*. 8: 1-7.

Benazzouk, S., Lutts, S. Et Djazouli Z. E. 2018. L'atténuation Du Stress Salin Par L'extrait De Vermicompost Chez *Solanum Lycopersicum* L. En Mobilisant Les Mécanismes De Tolérance Au Sel. *Revue Agrobiologia*. 8(2): 1136-1144.

Benhassaine-Kesri, G., Aid, F., Demandre, C., Kader, J.C. et Mazliak. P. 2002. Drought stress affects chloroplast lipid metabolism in rape (*Brassica napus*) leaves. *Physiol Plantarum* 115: 221-227.

Benidire, L., Daoui , K., Fatemi , Z.A., Achouak, W., Bouarab, L., Oufdou, K. 2015. Effet du stress salin sur la germination et le développement des plantules de *Vicia faba* L. *J. Mater. Environ. Sci*. 6 (3): 840-851.

Benkaddour, M., Slimani, S., Nedjeh, I., Bourouhou, M., Djahra, A.B., Ladjama, A. et

- Boudelaa, M. 2013.** Effet du NaCl sur Les Paramètres Physiologiques et Les Enzymes Antioxydantes de blé Dur *Triticum Durum*. Desf Durant la Croissance. *European Journal of Scientific Research*. 108 (2): 240-252
- Benmahioul, B., Daguin, F. et Kaid-Harche, M. 2009.** Effet du stress salin sur la germination et la croissance in vitro du pistachier (*Pistacia vera* L.). *Compte rendu. Science directe. Agronomie/Agronomy. C. R. Biologies*. 332: 752-758.
- Bennaceur, M., Rahmoune, C., Sdiri ,H., Maddah, M. et Selmi, M. 2001.** Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production en grains de quelques variétés maghrébines de blé. *Sécheresse* 12 (3) : 167-174.
- Bennani, K. et Bendaou, N. 2015.** Influence de la salinité en plein champ sur la teneur en phytoestrogènes et la germination d'écotypes marocains de *Trifolium*. *Can. J. Plant Sci.* 95: 461-466.
- Benrebaha, F., Hamdani, F., Chaouia, C. et Bouchenak, F. 2012.** Effet du stress salin sur le taux de chlorophylle et la perméabilité membranaire chez l'*Atriplex halimus*. *Revue Agrobiologia*. 2: 79 – 82.
- Bernstein, L. 1964.** Salt tolerance of plants. U.S. Dept. of Agr. Info. Bul. 283.
- Besri, M. 1991.** Verticillium wilt of tomato grown under plastic tunnel in Morocco. *Acta Horticulturae*. 287 : 355-360. http://www.actahort.org/books/287/287_40.htm
- Bidai, Y. 2001.** Le métabolisme de la proline chez l'*Atriplex halimus* L. stressée à la salinité. Mémoire de Magister en physiologie végétale, Université Es-Senia, Oran: 69-71.
- Bissati, S., Djerroudi, O., Mehani, M. Et Belkhodja, M. 2011.** Effet du stress salin sur deux paramètres hydriques (turgescence et transpiration) de jeunes plants d'*Atriplex halimus* et *Atriplex canescens*. *Revue des Bio Ressources*. 1 (1): 31-38.
- Blumwald, E., Grover, A. et Good, A.G. 2004.** Breeding for abiotic stress resistance: challenges and opportunities. 2004 « New directions for a diverse planet ». Dans Proceedings of the 4th International Crop Science Congress, 26 September – 1 October 2004, Brisbane, Australia.
- Borsani, O., Valpuesta, V. and Botella, M.A. 2003.** Developing salt tolerant plants in a new century: a molecular biology approach. *Plant Cell Tissue Organ Cult.* 73(2): 101–115. doi:10.1023/A:1022849200433.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bouassaba, K. et Chougui, S. 2018.** Effet Du Stress Salin Sur Le Comportement Biochimique Et Anatomique Chez Deux Variétés De Piment (*Capsicum Annuum* L.) À Mila Algérie. *European Scientific Journal*. 14 (15): 159-174.
- Bouchenak, F., Rey, P., Henri, P. et Benrebiha, F. 2015.** Mécanismes adaptatifs d'une halophyte spontanée *Atriplex halimus* sous conditions de stress salin et hydrique. *Revue des Régions Arides*. 37 : 103-118.
- Bouda, S. et Haddioui, A. 2011.** Effet du stress salin sur la germination de quelques espèces du genre *Atriplex*. *Nature et Technologi*. 5: 72-79.
- Boukharta, N., Ennaffah, B., Ouazzani Touhami, A., Benkirane, R. et Douira, A. 2012.** Effet de la salinité sur la sensibilité de la tomate à la verticilliose. *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège*. 81 : 75 – 81.
- Bousaba, R. 2001.** Effets d'une contrainte abiotique (stress hydrique) sur la plante et les composantes de la graine de *Vicia faba* L. (légumineuses). Thèse. Les bases biologiques de la production végétale. pp 43-54.
- Boutahraoui, A., Derouiche, B. et Snoussi, S.A. 2017.** Production de plants de tomate par voie végétative dans un milieu salin. *Revue Agrobiologia*. 7(1): 242-246
- Brinis, A. et Belkhodja, M. 2015.** Effet de la salinité sur quelques traits physiologiques et biochimiques chez *Atriplex halimus* L. *Rev. Sci. Technol., Synthèse*. 31: 42 -51.
- Bui, E. N. 2013.** Soil salinity: A neglected factor in plant ecology and biogeography. *J. arid Environ*. 92: 14- 25.
- Burcu, S., Turkan, I., Askim, H S. and Ceyda, O. 2010.** The role of antioxidant defense systems at differential salt tolerance of *Hordeum marinum* Huds. (*Sea barleygrass*) and *Hordeum vulgare* L. (cultivated barley). *Environmental and Experimental Botany*. 69: 76–85.
- Capucine, M. 2010.** Analyse des variations de la teneur en vitamine C dans le fruit de tomate et rôle de l'environnement lumineux. Sciences agricoles. Université d'Avignon, Français. (thèse doctorat en science).
- Carpenter, J.F., Crowe, L.M. and Arakawa, T. 1990.** Comparison of solute-induced protein stabilisation in aqueous solution and in the frozen and dried states. *J. Dairy Sci*. 73(12): 327–333.
- Chakraborty, U., Duta, S. and Chakraborty, B.N. 2002.** Responses of tea plants to water

stress. *Biologica Plantarum*. 45 (4):557-562.

Charltzoulakis, K. 1999. Changes in water relations photosynthesis and leaf anatomy induced by intermittent drought in two olives cultivars. University of Aristote. Greece. *Environment and experimental botany*. 42: 113- 120.

Chaux, C. et Foury, C. 1994. Production légumière. Tome3 : Légumineuses potagère, légumes et fruits. Edition : Technique et documentation – Lavoisier. Paris. 455p.

Chaux, C. 1971. Production légumière "Légumineuses potagères". Ed J-B Baillièrè, Paris, 409 p.

Chen, H. and Jiang, JG. 2010. Osmotic adjustment and plant adaptation to enviromental changes related to drought and salinity. *Environ. Rev.* 18: 309-319.

Chen, T.H. and Murata, N. 2002. Enhancement of tolerance of abiotic stress by metabolic engineering of betaines and other compatible solutes. *Curr. Opin. Plant Biol.* 5(3): 250–257.

Choi, Y.E., Harada, E., Wada, M., Tsuboi, H., Morita, Y., Kusano, T. and Sano, H. 2001. Detoxification of cadmium in tobacco plants: formation and active secretion of crystals containing cadmium and calcium through trichomes. *Planta*. 213: 45–50.

Chorfi, A. 2009. Contribution à l'étude de la résistance à la salinité chez une variété de blé dur algérien (*Triticum durum* desf.) var mohamed ben bachir. *Sciences et Technologie*. 29 : 41-44.

Cibilis, A.F., Swift, D.M. and Mc Aarthur, E.D. 1998. Plant-herbivory interactions in Atriplex: current state of knowledge. USDA Forest Service General Technical Report. 14: 1-29.

Clarcke, J. and Mc Caig, T. 1982. Excised leaf water retention capability as an indicator of drought résistance of *Triticum* genotypes. *Can. J. of Plant Science*. 62: 571-578.

Classen, W. 2005. Proline on mesure of stress in tomato plants. *Plants Sciences*. 168: 241-248.

Clerivet, A., Alami, I., Breton, F., Garcia, D. et Sanier, C. 1996. Les composés phénoliques et la résistance des plantes aux agents pathogènes. *Acta Botanica Gallica*. Acta hot. Gallica., 143 (6): 531-538.

Coïc, Y. 1967. Principes de la fertilisation minérale en cultures sous serre. *Bull Tech Info*

Inra. (217): 1-6.

Côme, D. 1992. Les végétaux et le froid. Collection Méthodes, Hermann, Paris. 600 p.

Crameur, G., Lauchli, R.A. and Epstein, E.1986. The Effects of NaCl and CaCl on Ion Activities in Complex Nutrient Solutions and Root growth of Cotton. *Plant Physiol.* 81:792-797.

Crameur, G.R., Epstein, E. and Laüchli, A. 1991. Effects of sodium, potassium and calcium in salt stressed barley. II elemental analysis. *Plant Physiology.* 81: 197- 202.

Dali, N., Ben Ghanem, H., Mougou, A. et Ben Taeib, T. 1997. Effet d'un stress salin sur la répartition entre amidon et sucres solubles dans les feuilles de deux lignées de tomate. Revue de l'INAT, *Journal des Sciences Agronomique* 12 (1) : 131- 147.

Dalyan, E., Yüzbaşıoğlu, E. and Akpınar, I. 2020. Physiological and Biochemical Changes in Plant Growth and Different Plant Enzymes in Response to Lead Stress. In: Gupta D., Chatterjee S., Walther C. (eds) Lead in Plants and the Environment. Radionuclides and Heavy Metals in the Environment. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-21638-2_8

David, M., Kenneth, R. and Thomas, K. H. 1985. Sodium and Potassium Fluxes and Compartmentation in Roots of Atriplex and Oat'. *Plant Physiol.*78: 500-509.

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

Delauney, AJ. and Verma, DPS. 1993. Proline biosynthesis and osmoregulation in plants. *Plant Journal.* 4: 215-223.

Demiral, T. and Turkan, I. 2005. Comparative lipid peroxidation, antioxidant systems and proline content 20 in roots of two rice cultivars differing in salt tolerance. *Environ Exp Bot.* 53:247–57.

Denden, M., Bettaieb, T., Salhi, A. et Mathlouthi, M. 2005. Effet de la salinité sur la fluorescence chlorophyllienne, la teneur en proline et la production florale de trois espèces ornementales, *Tropicultura*, 23 (4): 220-225.

Diatta, M., Diack M. et Dov Pasternak. 2000. Bioreclamation of the acid saline soils in Senegal. *IPALAC Annual Report* [Biorestauration des sols salins acides au Sénégal. *Rapport annuel de l'IPALAC.*

- Djahra, A. B., Benmakhlouf, Z., Benkherara, S., Benkaddour, M. et Bordjiba, O. 2015. effet du stress salin sur la teneur en eau et certains osmolytes chez le ble dur *triticum durum* var kebir pulverise par une phytohormone synthetisee: benzyl-amino-purine (bap). *Algerian journal of arid environment*. 5 (2): 71-81.
- Djerroudi, Z.O., Belkhodja, M., Bissati, S. et Hadjadj, S. 2010. Effet du Stress Salin sur l'accumulation de Proline chez deux espèces d'*Atriplex halimus* L. et *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt. *European Journal of Scientific Research*. 41 (2): 249-260.
- Dörfling, K. and Askman, A. 1989. Relationship between frost tolerance and formation of proline, abscisic acid and specific proteins in cold hardned winter wheat (*Triticum aestivum*) varieties. *XII Eucarpia Congress*. 6: 125-131.
- Doudech, N., Mhamdi, M., Bettaieb, T. et Denden, M. 2008. Tolérance à la salinité d'une graminée à gazon. *Tropicultura*, 26 (3): 182-185.
- Driouich, A., Ouhssine, M., Ouassou, A. et Bengueddour, R. 2001. Effet du NaCl sur l'activité du phosphénol pyruvate carbosylase (PEPC) foliaire et son rôle sur la synthèse du malate et de la proline chez le blé dur (*Triticum durum* Desf). *Science Letters*. 3 (3): 1-7.
- Duchaufour, P.H. 1983. Pédologie. Pédogenèse et classification T1. Ed Masson. pp. 467-483.
- Duperat, M. 1997. Le guide des arbres et arbustes de France. Ed., sélection du Reader Digest. 255 p.
- Dupont, F. et Guignard, J.L. 2007. Abrèges botanique systématique moléculaire. 14ème édition révisée, Masson.
- EL HADRAMI, I., RAMOS, T., EL BELLAJ, M., EL IDRISSE TOURANE, A. and MACHEIX J.J. 1997. A sinapic derivative as induced defence compound of date palm against *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*, the agent causing bayoud disease. *J. Phytopathol.*, 152: 182-189.
- El Mekkaoui, M. 1990. Etude des mécanismes de tolérance à la salinité chez le blé dur (*T. durum* Desf.) et l'orge (*H. vulgare* L.) : Recherche de tests précoces de sélection. Thèse en Science Agronomique., Université de Nice Sophia, Montpellier, 191p
- El Midaoui, M., Benbella, M., Aït Houssa, A., Ibriz, M. et Talouizte, A. 2007. Contribution à l'étude de quelques mécanismes d'adaptation à la salinité chez le tournesol cultivé (*Helianthus annuus* L.). *Revue Hommes Terre et Eaux*. 136: 29-34.

- EL-iklil, Y., Karrou, M., Mrabet, R. et Benichou, M. 2002.** Effet du stress salin sur la variation de certains métabolites chez *Lycopersicum esculentum* et *Lycopersicum sheesm Eanii*. *Canadian Journal of Plant Science*. 82: 177-183.
- Eltez, R.Z, Tüzel, Y., Gül, A., Tüzel, I.H and Duyar, H. 2002.** Effects of different EC levels of nutrient solution on greenhouse tomato growing. *Acta Horticulturae*. 573: 443-448.
- Fabre, R. Duval, M. et Jeannequin, B. 2011.** Influence de la salinité sur la qualité gustative et le rendement de tomates greffées cultivées hors-sol sous serre chauffée dans le Sud de la France. *Cah Agric*. 20: 266-73. doi : 10.1684/agr.2011.0496.
- Feigin, A., Pressman, E., Imas, P. and Milta, O. 1991.** Combined effects of KNO₃ and salinity on yield and chemical composition of lettuce and Chinese cabbage. *Irrig.Sci*. 12: 223–230.
- Flexas, J., Bota, J., Loreto, F., Cornic, J. and Sharkey, T.D. 2004.** Diffusive and metabolic limitation to photosynthesis under drought and salinity in C₃ plants. *Plant Biol*. 6: 269-279.
- Flowers, T. J. and Colmer, T. D. 2015.** Plant salt tolerance: adaptations in halophytes. *Ann. Bot*. 115: 327- 331.
- Flowers, TJ. And Lauchli, A. 1983.** Sodium versus potassium: substitution and compartmentation. In A Lauchli, RL Bielecki, eds, *Encyclopedia of Plant Physiology*. New Series, Springer-Verlag, Berlin. 15: 651-681.
- Flowers, T. and Colmer, T.D. 2008.** Salinity tolerance in halophytes. *New phytol*. 179: 945-963.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2007.** FAOSTAT-Prodstat.
- Foyer, C.H., and Noctor, G. 2000.** Oxygen processing in photosynthesis: a molecular approach. *New Phytol*. 146: 359–388.
- Francis, GW., Hertzberg, S., Andersen, K. and Liaaen-Jensen, S. 1970.** New carotenoid glycosides from *Oscillatoria limosa*. *Phytochemistry* 9:629–635.
- Francllet A. et Le Houerou N. 1971.** Les Atriplex en Tunisie et en Afrique du nord. Doc. F.A.O. Rome. 249 p.
- Fricke, W. and Peters, W.S. 2002.** The bioysics of leaf growth in salt stressed barley. A

study at the cell level. *Plant Physiol.* 129: 374 - 388.

Garance, K. 2018. Effet du stress hydrique sur la croissance de la tomate : une étude multi-échelle : de la cellule à la plante entière pour une meilleure compréhension des interactions entre les différentes échelles. Sciences agricoles. Université d'Avignon, Français. (Thèse doctorat en science).

Genoux, C., Putzola, F. et Maurin, G. 1991. Thème général: la lagune Méditerranéenne, TPE: *Les plantes halophytes*. 1ère S-2. 22p.

Ghassemi, F., Jakeman, A.J. and Nix, H.A. 1995. Salinisation of Land and Water Resources: Human Causes, Extent, Managment and Case Studies [Salinisation des terres et des ressources en eau: causes humaines, ampleur, gestion et études de cas]. CABI Publishing: Wallingford.

Ghezlaoui, B.E. 2001. Contribution à l'étude phytoécologique des peuplements halophytes dans le Nord de l'Oranie (Algérie occidentale). Mém. Mag. Écol. Vég. Univ. Tlemcen. 85 p.

Gilmour, S.J., Sebolt, A.M., Salazar, M.P., Everard, J.D. and Thomashow, M.F. 2000. Overexpression of the Arabidopsis CBF3 transcriptional activator mimics multiple biochemical changes associated with cold acclimation. *Plant Physiol.* 124(4): 1854–1865.

Glenn, E.P., Waugh, W.J., Moore, D., McKeon, C. and Nelson, S.G. 2001. Revegetation of an abandoned uranium millsite on the Colorado plateau. *Arizona J. environ. Qual.* 30: 1154-1162.

Gogbeu, S. J., Yapo, S. E., Gore, B. N., Ayolie, K., Kouassi, N., Nacanabo, R., Dogbo, D. O. et Kouadio, Y.J. 2019. Effets du traitement des plants de riz (*Oryza sativa* L.) au chlorure de sodium sur la synthèse et accumulation des sucres totaux et des composés phénoliques ethanosolubles dans les feuilles et racines. *Journal of Applied Biosciences.* 135: 13775 – 13787.

Graifenberg, A., Botrini, L., Giustiniani, L., Filippi, F. and Curadi, M. 2003. Tomato growing in saline conditions with biodesalinating plants: *Salsola soda* L., and *Portulaca oleracea* L. *Acta Horticulturae* 609: 301–305.

Grattan, S.R. and Grieve, C.M. 1994. Mineral nutrient acquisition and response by plants grown in saline environments. In: Pessaraki, M. (Ed.), Handbook of Plant and Crop Stress. Marcel Dekker, New York, pp. 203–226

- Greenway, E. and Munns, R. 1980.** Mechanisms of salt tolerance in non halophytes. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 31: 149–190.
- Guittonneau, G.G. et Huon, A. 1983.** Connaître et reconnaître la flore et la végétation méditerranéennes. Ed., Ouest-France. 331 p.
- Hadjadj, S., Djerroudi, O. et Bissati, S. 2010.** Effet de la salinité sur l'accumulation de la proline foliaire d'*Atriplex halimus* l. et d'*Atriplex canescens* (pursh) nutt aux stades juvéniles. *Annales des Sciences et Technologie.* 2: 126-134.
- Haghighi, Z., Modarresi, M. and Mollayi, S. 2012.** Enhancement of compatible solute and secondary metabolites production in *Plantago ovata* Forsk. by salinity stress. *J. Med. Plants Res.* 6: 3495–3500
- Hajhashemi, S., Kiarostami, K., Enteshari, S. and Saboora, A. 2006.** The Effects of Salt Stress and Paclobutrazol on Some Physiological of two salt- tolerant and salt sensitive cultivars of wheat. *Pakistan J. Biol. Sci.* 9: 1370-1374.
- Hamdy, A. 1999.** Saline irrigation and management for a sustainable use. In: Advanced Short Course on Saline Irrigation Proceeding, Agadir.
- Hamza, M. 1980.** Réponses des végétaux à la salinité. *Physiol. Vég.* 18:69-81.
- Hanana, M., Cagnac, O., Zarrouk, M. and Blumwald, E. 2009.** Rôles biologiques des antiports vacuolaires NHX : acquis et perspectives d'amélioration génétique des plantes. *Botany.* 87(11): 1023–1035. doi:10.1139/B09-073.
- Hanana, M., Hamrouni, L., Ben hamed, K., GhorbeL, A. et Abdelly, C. 2014.** Comportement et stratégies d'adaptation de vignes franches de pied sous stress salin. *Journal of New Sciences.* 3(4): 29-44.
- Hanana, M., Hamrouni, L., Cagnac, O. et Blumwald, E. 2011.** Mécanismes et stratégies cellulaires de tolérance à la salinité (NaCl) chez les plantes. *Dossiers environ.* 19: 121–141
- Haouala, F., Ferjani, H. et Ben El Hadj S. 2007.** Effet de la salinité sur la répartition des cations (Na^+ , K^+ et Ca^{2+}) et du chlore (Cl^-) dans les parties aériennes et les racines du ray-grass anglais et du chiendent. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 11 (3): 235–244.
- Hasegawa, P.M., Bressan, R.A., Zhu, J.K. and Bohnert, H.J. 2000.** Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 51(1): 463–499.

- Hassani, A., Dellal, A., Belkhodja, M. et Kaid- Harche, M. 2008. Effet de la salinite Sur L'eau et Certains Osmolytes Chez L'orge (*Hordeum Vulgare*). *European Journal of Scientific Research*. 23 (1): 61-69.
- Hattab, S., Flores-Casseres, ML., Boussetta, H., Doumas, P., Hernandez, LE. and Banni, M. 2016. Characterisation of lead-induced stress molecular biomarkers in *Medicago sativa* plants. *Environ Exp Bot*. 123:1-12.
- Havsteen, B.H. 2002. The biochemistry and medical significance of the flavonoids. *Pharmacol. Therapeut*, 96: 67– 202
- Hcini, K., David, J. W., Enrique, C. and Sadok, B. 2008. Estimation of nuclear DNA content in populations of *Atriplex halimus* L. (Chenopodiaceae) by flow cytometry. 61 (2): 160-163.
- Hernández, J.A., Ferrer, M.A., Jiménez, A., Barceló, A.R. and Sevilla, F. 2001. Antioxidant systems and O₂ –/H₂O₂ production in the apoplast of pea leaves. Its relation with salt-induced necrotic lesions in minor veins. *Plant Physiol*. 127(3): 817–831.
- Hernandez, S., Deleu, C. et Larhe, R. F. 2000. Accumulation de proline dans les tissus foliaires de tomate en réponse à la salinité. *Comptes Rendus Académie des Sciences. Paris, Sciences de la Vie/ Life Sciences*. 323: 551-557.
- Heyser, J.W., DeBruin, D., Kincaid, M., Johnson, R.Y., Rodriguez, M.M. and Robinson, N.J. 1989. Characterisation of L[5 13C] –proline biosynthesis in halophytic and no halophytic suspension cultures by 13 CNMR. *J.Plant Physiol*. 135: 446-459
- Hodek, P., Trefil, P. and Stiborova, M. 2002. Flavonoids-potent and versatile biologically active compounds interacting with cytochromes P450. *Chem. Biol. Interact*. 139: 1–21.
- Hodex, TK. 1973. Ion absorption by plant roots. *Ady Agron*. 25: 163-207.
- Hong, Z., Lakkineni, K., Zhang, Z. and Verma, D.P.S. 2000. Removal of feedback inhibition of D1-pyrroline-5-carboxylate synthetase results in increased proline accumulation and protection of plants from osmotic stress. *Plant Physiol*. 122(4): 1129–1136.
- Hopkins W.G. 2003. *Physiologie végétales* (Université des sciences et technologie de Lille) révision scientifique de CHARLE MARIE EVRARD. Chap 22 : p.451-464.
- Hu, C.A., Delauney, A.J. and Verma, D.P. 1992. A bifunctional enzyme (delta 1-pyrroline-5- carboxylate synthetase) catalyzes the first two steps in proline biosynthesis in plant.

Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America. 89 (19): 9354- 9358.

Hubac, C., Vieira, D.A. et Silva, J. 1980. Indicateurs métaboliques de contraintes mésologiques. *Physiol. Vég.* 18: 45-53.

Ibriz, M., Thami Alami, I., Amotfi, S., Al Faiz, C. et Rachidai, A. 2004. Réponse de quelques écotypes marocains de luzerne (*Medicago sativa* L.) à différentes concentrations de chlorure de sodium. Congrès International de Biochimie. Marrakech, Maroc, 3-6 Mai 2004.

ITCMI (Institut Technique des Cultures Maraîchères et Industrielles). 1995 : Guide pratique : la culture de la tomate sous serre. 20 p.

Jaboune, M. 2008. Adaptation des plantes au stress salin : Caractérisation de transporteur de sodium et de potassium de la famille HKT chez le riz. Thèse de doctorat. CNRS/INRA/SUP.Agro. univ./montp. II. 289 p.

Jiang, Y. and Huang, B. 2001. Effet of calcium on antioxidant activities and water relations associated with heat tolerance in two cool seasons grasses. *Journal of Experimental Botany.* 52: 341-349.

Kahlaoui, B., Hachicha, M., Rejeb, S. N., Rejeb, M. et Hanchi, B. 2010. Amélioration de la tolérance à la salinité de trois variétés de tomate irriguées par goutte à goutte en surface et enterré. *Annales de l'INRGREF* 14 (Numéro spécial), 21-28.

Karoune, S., Kecheba, M.S.A., Halis, Y., Djellouli, A. et Rahmoune, C. 2017. Effet du stress salin sur la morphologie, la physiologie et la biochimie de l'Acacia albida. *Journal Algérien des Régions Arides.* 14 : 60-73.

Keiffer, C. H. et Ungar, I. A. 2002. Germination and establishment of halophytes on birne-affected soils. *J. Appl. Ecol.* 39: 402- 415.

Keller, F. and Ludlow, M.M. 1993. Carbohydrate metabolism in drought-stressed leaves of Pigeonpea (*Cajanus cajan*). *Journal of Experimental Botany.* 44 (265): 1351-1359.

Khan, M.A., Ungar, L.A. and Showalters, A.M. (2000). Effects of salinity on growth, water relations and ion accumulation of the subtropical halophytic perpetual, *Atriplex griffithii* var de. stocksii. *Anne. Bot.* (London) 85: 225-232.

Khan, M.M., Islam, E., Irem, S., Akhtar, K., Ashraf, M.Y., Iqbal, J. and Liu, D. 2018. Pb-induced phytotoxicity in para grass (*Brachiaria mutica*) and Castorbean (*Ricinus communis*

- L.): antioxidant and ultrastructural studies. *Chemosphere*. 200: 257-265.
- Khan, M.N., Siddiqui, M., Mohammad, F., Naeem, M. et Khan, M.M. 2010.** Calcium chloride and gibberellic acid protect linseed (*Linum usitatissimum* L.) from NaCl stress by inducing antioxidative defence system and osmoprotectant accumulation. *Acta Physiologiae Plantarum* 32: 121–132.
- Kinet, J.M., Benrebiha, F., Bouzid, S., Lailhacar, S. et Dutuit, P., 1998.** Le réseau Atriplex, Allier biotechnologies et écologie pour une sécurité alimentaire accrue en régions arides et semi-arides. *Cah. Agr.* 7 (6): 505-509.
- Koch, K.E. 1996.** Carbohydrates-modulated gene expression in plants. *Ann. Rev. Plant. Physiol. Plant. Mol. Biol.* 47: 509- 540.
- Kocsy, G., Laurie, R., Szalai, G., Szilagy, V., Simon-Sarkadi, L., Galiba, G., and de Ronde, J.A. 2005.** Genetic manipulation of proline levels affects antioxidants in soybean subjected to simultaneous drought and heat stresses. *Physiol. Plant.* 124 (2): 227–235.
- Ksouri, R., Megdiche, W., Hans-Werner, K. et Abdelly, C. 2010.** — Responses of halophytes to environmental stresses with special emphasis to salinity. *Adv. Bot. Res.* 53: 117-145.
- Lafon, J.P., Tharaud –Prayer, C. et Levy, G. 1996.** *Biologie des Plantes Cultivées. Tome I. Org Phys De La Nutrition* ; Ed. Lavoisier, p. 153-160. 165.
- Lambert, L. 2017.** Pollinisation de la tomate par les bourdons, c'est tout naturel. Cultures en serres. Bulletin d'information N° 6. 10 p.
- Le Houérou, H. N. 1993.** Salt-tolerant plants for the arid regions of the mediterranean isoclimatic zones, p. 403- 422. In Lieth, H. et A. AL Masoom (Eds.), *Towards the rational use of high salinity tolerant plants*, vol. 1. Kluwer Publishers, Netherlands.
- Le Houérou, H.N. 1992.** The role of salt bushes (*Atriplex ssp.*) in arid rehabilitation in the mediterranean bassin. *Review Agroforestry Systems*. 18: 107-148.
- Le Houérou, H.N. 2000.** Utilization of fodder trees and shrubs in the arid and semiarid zones of west Asia and north Africa. *Arid Soil Res. Rehab.* 14: 101-135.
- Le Houérou, H.N. et Pontanier. 1988.** Les plantations sylvopastorales dans la zone aride de Tunisie. *Rev : Pastoralisme et développement*, Montpellier, pp : 16- 23.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Le Rudulier, D. 2005.** Osmoregulation in rhizobia: The key role of compatible solutes. *Grain Leg.*, 42: 18 - 19.
- Lecompte, F. et Causse, M. 2014.** Variétés et systèmes de culture de tomate : les apports conjoints de la génétique et de l'agronomie. *Agronomie, Environnement et Sociétés*. 4(2) : 23-34.
- Lee, G., Carrow, R.N., Duncan, R.R., Eiteman, M.A. and Rieger, M.W. 2008.** Synthesis of organic osmolytes and salt tolerance mechanisms in *Paspalum vaginatum*. *Environmental and Experimental Botany*. 63: 19-27.
- Levigneron, A., Lopez, F., Vansuyt, G., Berthomieu, P., Fourcroy, P. et Casse-Delbart, F. 1995.** Les plantes face au stress salin. *Cahiers Agr.*4: 263-273.
- Levitt, J. 1980.** Responses of Plants to Environmental Stresses. Vol.II, 2nd Ed. Academic Press, New York, pp: 607.
- Logan, B.A. 2005.** Reactive oxygen species and photosynthesis. Dans *Antioxidants and reactive oxygen species in plants*. Sous la direction de N. Smirnoff. Blackwell, Oxford. p. 250–267.
- Maas, E.V. 1986.** Salt tolerance of plants. *Appl. Agricult. Research*, 1: 12-26.
- Maggio, A., De Pascale, S., Angelino, G., Ruggiero C. and Barbieri, G. 2004.** Physiological response of tomato to saline irrigation in long-term salinized soils. *Europ. J. Agron.* 21: 149-159.
- Mahajan, S. and Tuteja, N. 2005.** Cold, salinity and drought stresses: An overview. *Archives of Biochemistry and Biophysics*. 444:139-158.
- Mahi, Z., Dedaldechamp, F., Maurousse, L., Lemoine, R., et Belkhodja, M. 2015.** Etude de la Peroxydation Lipidique (MDA) et l'Activité Antioxydative (POD) Chez Deux halophytes: *Atriplex halimus* L. et *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt sous l'Effet du Sel. 10 (1): 450–458.
- Maisuthisakul, P., Pasuk, S. and Ritthiruangdej, P. 2008.** Relationship between antioxidant properties and chemical composition of some Thai plants. *Journal of Food Composition and Analysis*. 21 (3): 229-240.
- Majourhat, K. et Baaziz, M. 2004.** Diversité et caractéristiques des peroxydases foliaires du palmier dattier. Congrès international de biochimie, Marrakech, Maroc, 153-156.

- Maksimović, I., Putnik-Delić, M., Gani, I., Marić, J. and Ilin, Ž. 2010. Growth, ion composition, and stomatal conductance of peas exposed to salinity. *Open Life Sciences*. 5(5): 682-691.
- Malcolm, C.V., Lindley, V.A. O'Leary, J.W. Runciman, H.V. and Barrett-Lennard, E.G. 2003. Halophyte and glycophyte salt tolerance at germination and the establishment of halophyte shrubs in saline environments. *Plant Soil*. 253: 171-185.
- Manaa, A., Gharbi, E., Mimouni, H., Wasti, S., Aschi-Smiti, S., Lutts, S. and Ben Ahmed, H. 2014. Simultaneous application of salicylic acid and calcium improves salt tolerance in two contrasting tomato (*Solanum lycopersicum*) cultivars. *South African Journal of Botany*. 95: 32-39.
- Marcum, K.B. 2006. Use of saline and non-potable water in the turfgrass industry: constraints and developments. *Agri. Water Manag.* 80: 132-146.
- Martin-Prevel, P., Gagnard, J., Gautier, P. et Drouineau, G. 1984. Analyse végétale dans le contrôle de l'alimentation des plantes tempérées et tropicales. *Technique et Documentation- Lavoisier*, p.161-179.
- Masmoudi, A. et Chergui, Y. 2016. Maîtrise de la salinité sous irrigation goutte à goutte sur une culture de tomate sous serre. Actes du workshop international : Gestion Intégrée et Durable des Territoires Oasiens. 12-15 avril 2016, Zagora, Maroc.
- Masters, D.G., Benes S.E. and Norman, H.C. 2007. Biosaline agriculture for forage and livestock production. *Agri. Ecosys. Environ.* 119: 234-248.
- Mattia, C., Bischetti, G.B. and Gentile, F. 2005. Biotechnical characteristics of root systems of typical Mediterranean species. *Plant Soil*. 278: 23-32.
- Mehani, M., Bissati, S. et Djeroudi, O. 2012. Effet d'eau de mer sur deux paramètres hydriques (turgescence et transpiration) de jeunes plants d'*Atriplex canescens*. *J. Mater. Environ. Sci.* 3 (5): 840-845.
- Messaï, A., Hannachi, C. et Zid, E. 2006. Régénération in vitro de plantes de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) adaptées au NaCl. *Tropicultura*. 24 (4) : 221-228.
- Metternicht, G.I. et Zinck, J.A. 2003. Remote sensing of soil salinity: potentials and constraints [Télédétection de la salinité du sol: potentiels et contraintes]. *Remote Sensing of Environment* 85:1-20.

- Mezni, M., Albouchi, A., Bizid, E. et Hamza, E. 2002. Effet de la salinité des eaux d'irrigation sur la nutrition minérale chez trois variétés de luzerne pérenne (*Medicago sativa*). *Agro. 22*: 283–291.
- Misra, N. and Dwivedi, U.N. 1995. Carbohydrate metabolism during seeds germination and seedling growth in green gram under saline stress. *Plant Physiol. Biochem. 33*: 33-38.
- Mizrachi, Y. 1982. Effect of Salinity on Tomato Fruit Ripening. *Plant Physiol. 69*: 966-970.
- Monneveux, PH. et Nemmar, M. 1986. Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) et chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.): Etude de l'accumulation de la proline au cours du cycle de développement. *Agronomie. 6* (6): 583-590.
- Mrani Alaoui, M., El Jourmi, L., Ouarzane, A., Lazar, S., El Antri, S., Zahouily, M. and Hmyene, A. 2013. Effet du stress salin sur la germination et la croissance de six variétés marocaines de blé. *J. Mater. Environ. Sci. 4* (6): 997-1004.
- Mukohata, Y., Nakabayashi, S. and Higashida, M. 1978. Quercetin, an energy transfer inhibitor in photophosphorylation. *FEBS Lett. 85*: 215– 218.
- Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environ. 25*(2): 239–250.
- Munns, R. 2005. Genes and salt tolerance: bringing them together. *New Phytol. 167*(3): 645–663.
- Munns, R. A., James, A. and Lauchli. 2006. Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *Journal of Experimental Botany. 57* (5): 1025–1043.
- Munns, R. and James, R. A. 2003. Screening methods for salinity tolerance: A case study with tetraploid wheat. *Plant Soil. 253*: 201-218.
- Nagesh Babu, R. and Devaraj, V.R. 2008. High temperature and salt stress response in French bean (*Phaseolus vulgaris*). *Aus. J. Crop Sci. 2*: 40-48.
- Nedjimi, B. et Daoud, Y. 2008. Influence du NaCl sur le comportement d'une espèce halophyte (*Atriplex halimus* subsp. *Schweinfurthii*). *Annales de l'institut national agronomique-Al-Harrach. 29* N°1 et 2 : 121-135.
- Nedjimi, B., Bekai, Z., Guit, B., Toumi, M. et Daoud, Y. 2013. Germination et croissance

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- d'*Atriplex halimus* subsp. *schweinfurthii* en presence de cacl₂. *Algerian journal of arid environment*. 3 (1): 15-23.
- Nedjimi, B. 2010.** Étude de la résistance d'*Atriplex halimus* subsp. *schweinfurthii* aux sels solubles. *Acta Bot. Gallica*. 157 (4): 787-791.
- Negre, R. 1961.** Petite flore des régions arides du Maroc occidental. Tome 1. Ed: C.N.R.S Paris 179 p.
- Noctor, G. and Foyer, C. H. 1998.** Ascorbate and glutathione: Keeping Active Oxygen Under Control. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 49 (1): 249-279.
- Norman, T. and Lawrence, J.w. 1984.** Salinity, photosynthesis, and leaf growth. *California Agri*. 38 (10): 38-39.
- Ober, E.S. and Sharp, R.E. 1994.** Proline accumulation in maize (*Zea mays* L.) primary roots at low water potentiels. *Plant. Physiol*. 105: 981-987.
- Orti'z-Dorda, J., Marti'nez-Mora, C., Correal, E., Sim_Oon, B. and Cenis, J.L. (2005).** Genetic Structure of *Atriplex halimus* Populations in the Mediterranean Basin. *Annals of Botany*. 95: 827-834.
- Ouadah, Y. 1982.** Contribution à l'étude des principales essences d'intérêt fourrager des régions arides et semi-arides d'Algérie : Application à quelques espèces. Mém. Ing. INA. 108 p.
- Ould Mohamdi, M., Bouya D. et Ould Mohamed Salem, A. 2011.** Etude de l'effet du stress salin (NaCl) chez deux variétés de tomate (Campbell 33 et Mongal). *Int. J. Biol. Chem. Sci*. 5(3): 890-900.
- Parida, A.K. and Das, A.B. 2005.** Salt tolerance and salinity effect on plants: review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 60: 324-349.
- Peng, Z., Lu, Q., and Verma, D.P. 1996.** Reciprocal regulation of D1- pyrroline- 5- carboxylate synthetase and proline dehydrogenase genes controls proline levels during and after osmotic stress in plants. *Mol. Gen. Genet*. 253(3): 334-341.
- Perez-Alfocea, F., Estañ, M.T., Caro, M. and Guerrier, G. 1993.** Osmotic adjustment in *Lycopersicon esculentum* and *L. pennellii* under NaCl and polyethylene glycol 6000 iso-osmotic stresses. *Physiol. Plant*. 87: 493-498

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Philouze, J. et Hedde, L., 1993.** La tomate in : Méthodes traditionnelles de sélection des plantes : un aperçu historique destiné à servir de référence pour l'évolution du rôle de la biotechnologie moderne. Ed. OCDE. Paris. Pp 95-104
- Pontanier, R. et Lehouerou, H.N. 1988.** Les plantations sylvopastorales dans la zone aride de Tunisie. Extrait de la revue pastorale et développement, 24 Mai au 9 Juillet, Montpellier.
- Pouget, M. 1980.** Les relations sol-végétation dans les steppes sud-algéroises. Trau. el Doc. O.R.S. T.O.M., N° 116, 555 p.
- Qian, Y.L., Wilhelm, S.J. and Marcum, K.B. 2001.** Comparative responses of two Kentucky bluegrass cultivars to salinity stress. *Corp Science*. 41: 1895-1900.
- Quezel, P. et Santa, S. 1963.** Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Tome II, Ed. CNRS, Paris.
- R'him T., Tlili I., Hnan I, Ilahy R., Benali A. et Jebari H. 2013.** Effet du stress salin sur le comportement physiologique et métabolique de trois variétés de piment (*Capsicum annuum l.*). *Journal of Applied Biosciences* 66: 5060 – 5069.
- Rahman, I. 2002.** Oxidative stress and gene transcription in asthma and chronic obstructive pulmonary disease: antioxidant therapeutic target. *Curr Drug Targets Inflamm Allergy*. 1(3): 291-315.
- Rao, G.G. and G.R. Rao. 1981.** Pigment composition and chlorophyllase activity in pigeon pea (*Cajanus indicus Spreng*) and Gingelley (*Sesamum indicum L.*) under NaCl salinity. *Indian J. Exp. Biol.* 19: 768-770.
- Rathert, G., 1984.** Sucrose and starch content of plant parts as possible indicators for salt tolerance. *Aust. J. Plant Physiol.* 5: 491-495.
- Rejili, M., Vadel, A.M. and Neffati, M. 2006.** Germinative behaviour of two populations of *Lotus creticus* under salt stress. *Revue des Régions Arides*. 17: 65-78.
- Rey, Y. et Costes, C. 1965.** La physiologie de la tomate. Etude bibliographique. Paris : Inra éditions. 111 p.
- Rezkallah, C., Djemai, R. Maalem, S. et Fehdi, C. 2014.** Les effets d'irrigation par l'eau salée sur les propriétés physico-chimiques d'un sol planté avec *Atriplex halimus*. *Afrique Science*. 10(1): 139 – 144.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

- Rhodes, D., Nadloska-Orczyk, A., et Rich, P.J. 2002. Salinity, osmolytes and compatible solutes. Dans *Salinity: environment plants-molécules*. Sous la direction de A. Lauchli et U. Luttge. Kluwer, Boston. p. 181–204.
- Richards, L. A. 1954. *Diagnosis and improvement of saline and alkali Soils*. Agric. Handbook 60, USDA, Washington D.C, p 160.
- Rubio, F., Gassmann, W. et Schroeder, J.I. 1995. Sodium-driven potassium uptake by the plant potassium transporter HKT1 and mutations conferring salt tolerance. *Science* 270: 1660–1663.
- Sâadallah, K. et Abdelly, C. 2001. Réponses physiologiques au sel de deux variétés de Haricot : Coco blanc sensible et BAT 477 tolérante, in : A. Hanafi, L. Kenny (Eds.), *Agriculture biologique dans le bassin méditerranéen*. pp. 453–463.
- Saeed, A., Saleem, M.F., Zakria, M., Anjum, S.A., Shakeel, A. and Saeed, N. 2011. Genetic variability of NaCl tolerance in tomato. *Genet. Mol. Res.* 10 (3): 1371-1382.
- Sai Kachout, S., Ben Mansoura, A., Jaffel, K., Leclerc, J.C., Rejeb, M.N. and Ouerghi, Z. 2009. The Effect Of Salinity On The Growth Of The Halophyte *Atriplex Hortensis* (Chenopodiaceae). *Applied Ecology And Environmental Research*. 7(4): 319-332.
- Sairam, R.K., and Tyagi, A. 2004. Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants. *Curr. Sci.* 86: 407–421.
- Sairam, RK., Rao, KV., Srivastava, GC. 2002. Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. *Plant Sci.* 163: 1037–1046.
- Salo, L.F., Artiola, J.F. and Goodrich-Mahoney, J.W. 1996. Plant species for revegetation of a saline flue gaz desulfurization sludge pond. *J. Environ. Qual.* 25: 802-808.
- Santiago, R., and Termaat, A. 1986. Whole plant responses to salinity. *Aust. J. Plant Physiol.* 13: 143–160.
- Santos, C. V. 2004. Regulation of chlorophyll biosynthesis and degradation by salt stress in sunflower leaves, *Scientia Horticulturae*. 103 (1): 93–99.
- Schat, H., Sharma, S.S. and Vooijs, R. 1997. Heavy metal-induced accumulation of free proline in a metal-tolerant and a non-tolerant ecotype of *Silene vulgaris*. *Physiol. Plant.* 101: 477–482.

- Schiels, R. and Burnett, W. 1960. Determination of protein-bound carbohydrate in serum by a modified anthrone method. *Anal. Chem.* 32: 885- 886.
- Schwab, K.B. and Gaff, D.F. 1986. Sugar and ion content in leaf tissue of several droughts tolerant plants under water stress. *J. Plant Physiol.* 125: 257-265.
- Scippa, G.S., Dimichele, M., Onelli, E., Patrignani, G., Chiatante, D. and Bray, E.A. 2004. The histone-like protein HI-S and the response of tomato leaves to water deficit. *J Exp Bot.* 55: 99-109.
- Sebane, R.F., 2015. Action combinée de la salinité et de l'acide salicylique sur les réponses biochimiques de deux espèces : *Atriplex halimus* L. et *Atriplex canescens* (Purch) Nutt. Mémoire de Magistère en Biologie. Université d'Oran.
- Shankara, N., Joep van Lidt, d.J., Marja, d.G. Martin, H. et Barbara, V.D. 2005. La culture des tomates, production, transformation et commercialization. Série Agrodok No. 17. 105 p.
- Sharaf, A., Labib, S. et El Massry, R., 1990. Effect of kinetin on the biochemical constituents of tomato plants under different levels of salinity. *Zagazig Journal of Agricultural Research* .12: 417-441.
- Sharma, S.S. and Dietz, K.J. 2006. The significance of amino acids and amino acid-derived molecules in plant responses and adaptation to heavy metal stress. *J. Exp. Bot.* 57: 711–726.
- Silva-Ortega, C.O., Ochoa-Alfaro, A.E., Reyes-Aguero, J.A., Aguado-Santacruz, G.A. and Jimenez-Bremont, J.F. 2008. Salt stress increases the expression of p5cs gene and induces proline accumulation in cactus pear. *Plant Physiol. Biochem.* 46(1): 82– 92.
- Singh, T.N., Paleg, L.G. and Aspinall, D. 1973. Nitrogen metabolism and growth in barley plant during water stress. *Aust. J. Biol. Sci.* 26: 45-56.
- Sivtsev, M. 1973. Photochemical activity of chloroplast and bound strength complex in cultured plants during action of salinization and biologically active compounds. *Fizol. Rast.* 20: 1176–1181.
- Slama, I., Messedi, D., Ghnaya, T. et Abdely C. 2004. Effet du déficit hydrique sur la croissance et l'accumulation de la proline chez *Sesuvium portulacastrum*. *Revue des Régions Arides*, Tome 1, No. spécial: 234-241.
- Snoussi, S.A . et Chikhi, H.. 2012. Effet de la salinité sur l'absorption hydrominérale des

plantules de tomate dans un environnement salin. *Revue Agrobiologia*; 2 : 83 - 87

Snoussi, S.A., Halitim, A. et Valles, V. 2004. Absorption hydrique en milieu salin chez la tomate et le haricot. *Cahiers Agricultures*. 13: 283-287

Soltani, A. 1988. Analyse des effets de NaCl et de la source d'azote sur la nutrition minérale de l'orge. Thèse de Doctorat d'État. Tunis : Faculté des Sciences de Tunis, 322 p

Souguir, D., Jouzdan, O., Khouja, M.L., et Hachicha, M. 2013. Suivi de la croissance d'Aloe vera en milieu salin : Prcelle de kalaat Landelous (Tunisie). *Etude et Gestion des Sols*. 30 (3): 19□ 26.

Standaert, J.Y., Maraite, H. Myttenaere, C. et Meyer, J.A. 1978. Etude de l'influence de la concentration saline et du rapport Na/Ca du milieu nutritif sur la sensibilité de la tomate à la fusariose vasculaire. *Plant and soil*. 50: 269-286.

Steyl, G. and Dennis, I. 2010. Review of coastal area aquifers in Africa [Revue des aquifères des zones côtières en Afrique]. *Hydrogeology Journal* 18:217-225.

Streeter, J.G., Lohnes, D.G. and Fioritto, R.J. 2001. Pattern of pinitol accumulation in soybean plants and relationships to drought tolerance. *Plant Cell Environ*. 24(4): 429–438.

Su, J., Chen, P.L. and Wu, R. 1999. Transgene expression of mannitol-1-phosphate dehydrogenase enhanced the salt stress tolerance of the transgenic rice seedlings. *Sci. Agric. Sin*. 32: 101–103.

Taffuou, V.D., Kouamou, J.K., Ngalangue, L.M.T., Ndjeudji, B.A.N. and Akoa, A. 2009. Effects of salinity stress on growth, ions partitioning and yield of some cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) cultivars. *Int. J. Bot.*,5: 135-143.

Taji, T., Ohsumi, C., Iuchi, S., Seki, M., Kasuga, M., Kobayashi, M., Yamaguchi-Shinozaki, K. and Shinozaki, K. 2002. Important roles of drought- and cold inducible genes for galactinol synthase in stress tolerance in *Arabidopsis thaliana*. *Plant J*. 29(4): 417– 426.

Taji, T., Seki, M., Satou, M., Sakurai, T., Kobayashi, M., Ishiyama, K., Narusaka Y., Narusaka, M., Zhu, J.K. and Shinozaki, K. 2004. Comparative genomics in salt tolerance between *Arabidopsis* and *Arabidopsis*-related halophyte salt cress using *Arabidopsis* microarray. *Plant Physiology*. 135: 1697-1709.

Taleisnik, E.L. and Grunberg, K.1994. Ion balance in tomato cultivars differing in salt tolerance. Sodium and potassium accumulation and fluxes under moderate salinity. *Physiol*.

Plant. 92: 528-534

Tammam, A., Abou Alhamd, M.F. and Hemedda, M. 2008. Study of salt tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivar Banysoif. *Aus. J. Crop Sc.* 1: 47-52.

Tavakkoli, E., Fatehi, F., Coventry, S., Rengasamy, P. and McDonald, G.K. 2011. Additive effects of Na⁺ and Cl⁻ ions on barley growth under salinity stress. *J. Exp. Bot.* 62 (6): 2189-2203.

Tewari, T. N. and Singh, B. B. 1991. Stress studies in lentil (*Lens esculenta* M.) II. Sodidity induced changes in chlorophyll, nitrate and nitrate reductase, nucleic acid, proline, yield and yield components in lentil. *Plant Soil.* 136: 225–230.

Tippmann, H.F., Schlüter, U., Collinge, D.B. 2006. Common themes in biotic and abiotic stress signalling in plants, in: Floriculture, Ornamental and Plant Biotechnology. Global Science Books. 3: 52-67.

Tognolli, M., Penel, C., Greppin, H. and Smon, P. 2002. Analysis and expression of the class III peroxidase large gene family in *Arabidopsis thaliana*. *Gene* 288: 129-138.

Tripathi, A.K. and Tripathi, S. 1999. Change in some physiological and biochemical characters in Albizialebbek as bioindicators of heavy metal toxicity. *J. Environ. Biol* 20 (2): 93-98.

Udea, A., Yamamoto-Yamane, Y. and Takabe, T. 2007. Salt stress enhances proline utilization in the apical region of barley roots. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 335 (1): 61-66.

Valko, M., Rhodes, C.J., Moncol, J., Izakovic, M., Mazur, M. 2006. Free radicals, metals and antioxidants in oxidative stress-induced cancer. *Chem. Biol Interact.* 160: 1–40

Wang, P., Du, Y., Hou, Y-J., Zhao, Y., Hsu, C-C., Yuan, F., Zhu, X., Tao, WA., Song, C-P. and Zhu, J-K. 2015. Nitric oxide negatively regulates abscisic acid signaling in guard cells by S-nitrosylation of OST1. *Proc Natl Acad Sci USA.* 112: 613–618.

Wang, W.X., Vinocur, B., Shoseyov, O. and Altman, A. 2001. Biotechnology of plantosmotic stress tolerance: physiological and molecular considerations. *Acta Hort.* 560: 285-292

Wang, Y. and Nil, N. 2000. Changes in chlorophyll, ribulose biphosphate carboxylase oxygenase, glycine betaine content, photosynthesis and transpiration in *Amaranthus tricolor*

leaves during salt stress. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.*, 75: 623–627.

Weber, D.J., Ansari, R., Gul B. and Khan, M.A. 2007. Potential of halophytes as source of edible oil. *J. Arid Environ.* 68: 315-321.

White, PJ, 1999. The molecular mechanism of sodium influx to root cells. *Trends in plant Science*: p.245-246.

Yamaguchi, T. and Blumwald, E. 2006. Developing salt-tolerant crop plants: challenges and opportunities. *Trends Plant Sci.* 10 (12): 615–620.

Yancey, P.H., Clark, M.E., Hand, S.C., Bowlus, R.D. and Somero, G. N. 1982. Living with water stress: evolution of osmolyte systems. *Science*, 217 (4566): 1214–1222.

Yazici, I., Türkan, I., Sekmen A.H. and Demiral, T. 2007. Salinity tolerance of purslane (*Portulaca oleracea* L.) is achieved by enhanced antioxidative system, lower level of lipid peroxidation and proline accumulation. *Environ. Exp. Bot.* 61: 49-57.

Yoshiba, Y., Nanjo, T., Miura, S., Yamaguchi-Shinozaki, K. and Shinozaki, K. 1999. Stress-responsive and developmental regulation of P5CS1 gene expression in *Arabidopsis thaliana*. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 261: 766–772.

Yoshida, K. 2002. Plant biotechnology genetic engineering to enhance plant salt tolerance. *J. Biosci. Bioeng.* 94: 585–590.

Zaki, M.F., Abou Hussein, S.D., Abou El-Maged, M.M. and El-Abagy H.M.H. 2009. Evaluation of some fennel cultivars under saline irrigation water. *Eur J Sci Res.* 30: 67-78.

Zekri, M. and Parsons, R.1989. Growth and root hydraulic conductivity of several citrus rootstocks under salt and polyethylene glycol stresses. *Physiologia Plantarum.* 77: 99-106.

Zerrad, W., Hillali, S., Mataoui, B.S. EL Antri, S. et Hmyene A. 2006. Etude comparative des mécanismes biochimiques et moléculaires de résistance au stress hydrique de deux variétés de blé dur. *Congrès International de Biochimie, Agadir.* 371-376.

Zervoudakis, G., Angelopoulos, K., Salahas, G. and Georgiou, C.D. 1998. Differences in cold inactivation of phospho-enolpyruvate carboxylase among C4 species: The effect of pH and of enzyme concentration. *Photosynthetica.* 35: 169-175.

Zhang, H., Zhang, S., Meng, Q., Zou, J., Jiang, W. and Liu, D. 2009. Effects of aluminum on nucleoli in root tip cells, root growth and the antioxidant defense system in *Vicia faba* L.

Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica. 51(2): 99-106.

Zhi-lin, Y., Chuan-chao, D. and Lian-qing, C. 2007. Regulation and accumulation of secondary metabolites in plant-fungus symbiotic system. *African Journal of Biotechnology*. 6 (11): 1266-1271.

Zhi-lin, Y., Chuan-chao, D. and Lian-qing, C. 2007. Regulation and accumulation of secondary metabolites in plant-fungus symbiotic system. *African Journal of Biotechnology*. 6 (11): 1266-1271.

Zhu, D. et Scandalios, J. G. 1994. Differential Accumulation of Manganese Superoxide Dismutase Transcripts in Maize in Response to Abscisic Acid and High Osmoticum. *Plant Physiol*. 106 (1): 173-178.

Zhu, J.K. 2001. Plant salt tolerance. *Trends in plant Science*, 6: 66-71.

Zhu, J.K. 2002. Salt and drought stress signal transduction in plants. *Ann. Rev. Plant Biol.* 53: 247-273.

Zid et Grignon, 1991. Les tests de sélection précoce pour la résistance des plantes au stress: cas des stress salin et hydrique. In Amélioration des plantes par l'adaptation aux milieux arides. Ed. AAPELF-UREF. Pp 91-108.

Zouaoui, A., Moula, E., et Snoussi, S. A. 2018. Étude de l'effet de la salinité et de l'inoculation de bradyrhizobiumsp. (lotus) sur le comportement morpho-physiologique du haricot (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revue Agrobiologia*. 8(1): 802-808.

Zraibi, L., Nabloussi, A., Merimi, J., El Amrani, A., Kajeiou, M., Khalid, A. et Serghini Caid H. 2012. Effet du stress salin sur des paramètres physiologiques et agronomiques de différentes variétés de carthame (*Carthamus tinctorius* L.). *Al awamia* 125-126.

Zuccarini, P. 2008. Ion Uptake by Halophytic Plants to Mitigate Saline Stress in *Solanum lycopersicon* L., and Different Effect of Soil and Water Salinity. *Soil & Water Res.* 3 (2): 62-73.

ANNEXES

Annexe 1. Traitement statistique des résultats du paramètre longueur de tige des plantes de la tomate.

Tableau 1. Comparaison des moyennes du facteur « salinité » pour le paramètre longueur de tige selon le test Newman-keuls à 5 %.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES			
1.0	F1n1	59,2	A			
3.0	F1n3	46,3		B		
2.0	F1n2	45,7		B		
4.0	F1n4	33,9			C	
5.0	F1n5	22				D

Tableau 2. Comparaison des moyennes du facteur « salinité - *A. halimus* » pour le paramètre longueur de tige selon le test Newman-keuls à 5 %

F1 F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES					
1.0 1.0	F1n1 F2n1	62,4	A					
1.0 2.0	F1n1 F2n2	56	A	B				
2.0 2.0	F1n2 F2n2	52,2		B	C			
3.0 2.0	F1n3 F2n2	47,8		B	C			
3.0 1.0	F1n3 F2n1	44,8			C	D		
2.0 1.0	F1n2 F2n1	39,2				D		
4.0 2.0	F1n4 F2n2	38,4				D		
4.0 1.0	F1n4 F2n1	29,4					E	
5.0 1.0	F1n5 F2n1	26					E	
5.0 2.0	F1n5 F2n2	18						F

Annexe 2. Traitement statistique des résultats du paramètre nombre des feuilles des plantes de la tomate

Tableau 3. Comparaison des moyennes du facteur « salinité » pour le paramètre nombre des feuilles selon le test Newman-keuls à 5 %

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES		
1.0	F1n1	209,5	A		
3.0	F1n3	160,9		B	
4.0	F1n4	159		B	
2.0	F1n2	141,8		B	
5.0	F1n5	94,3			C

Tableau 4. Comparaison des moyennes du facteur « *A. halimus* » pour le paramètre nombre des feuilles selon le test Newman-keuls à 5

F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
2.0	F2n2	161,64	A	
1.0	F2n1	144,56		B

Annexe 3. Traitement statistique des résultats du paramètre surface foliaire des plantes de la tomate

Tableau 5. Comparaison des moyennes du facteur « salinité » pour le paramètre surface foliaire selon le test Newman-keuls à 5

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES		
2.0	F1n2	31,68	A		
3.0	F1n3	26,111		B	
1.0	F1n1	25,044		B	
4.0	F1n4	16,99			C
5.0	F1n5	13,924			C

Annexe 4. Traitement statistique des résultats du paramètre nombre des fruits par plante de la tomate

Tableau 6. Comparaison des moyennes du facteur « salinité » pour le paramètre nombre des fruits selon le test Newman-keuls à 5

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES			
1.0	F1n1	7,1	A			
2.0	F1n2	6,5	A	B		
3.0	F1n3	5,5		B		
4.0	F1n4	3,5			C	
5.0	F1n5	2,3				D

Annexe 5. Traitement statistique des résultats du paramètre teneur relative en eau des plantes de la tomate

Tableau 7. Comparaison des moyennes du facteur « salinité» pour le paramètre teneur relative en eau selon le test Newman-keuls à 5

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES		
1.0	F1n1	84,607	A		
2.0	F1n2	82,434	A	B	
3.0	F1n3	74,765		B	C
4.0	F1n4	72,705			C
5.0	F1n5	68,773			C

Annexe 6. Traitement statistique des résultats du paramètre chlorophylle a des plantes de la tomate.

Tableau 8. Comparaison des moyennes du facteur « salinité» pour le paramètre chlorophylle a selon le test Newman-keuls à 5.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
1.0	F1n1	1,223	A	
2.0	F1n2	0,858		B
3.0	F1n3	0,668		B
4.0	F1n4	0,621		B
5.0	F1n5	0,466		B

Annexe 7. Traitement statistique des résultats du paramètre chlorophylle b des plantes de la tomate.

Tableau 9. Comparaison des moyennes du facteur « salinité» pour le paramètre chlorophylle b selon le test Newman-keuls à 5.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES			
1.0	F1n1	0,764	A			
2.0	F1n2	0,628		B		
3.0	F1n3	0,588		B		
4.0	F1n4	0,469			C	
5.0	F1n5	0,35				D

ANNEXES

Annexe 8. Traitement statistique des résultats du paramètre chlorophylle totale des plantes de la tomate.

Tableau 10. Comparaison des moyennes du facteur « salinité» pour le paramètre chlorophylle totale selon le test Newman-keuls à 5.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES			
1.0	F1n1	1,987	A			
2.0	F1n2	1,486		B		
3.0	F1n3	1,255		B	C	
4.0	F1n4	1,09			C	D
5.0	F1n5	0,816				D

Annexe 9. Traitement statistique des résultats du paramètre taux de proline des parties souterraines des plantes de la tomate.

Tableau 11. Comparaison des moyennes du facteur « salinité» pour le paramètre taux de proline des parties souterraines selon le test Newman-keuls à 5.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES			
5.0	F1n5	24,8	A			
4.0	F1n4	17,055		B		
3.0	F1n3	11,642			C	
2.0	F1n2	6,289				D
1.0	F1n1	3,726				E

Tableau 12. Comparaison des moyennes du facteur « *A. halimus* » pour le paramètre taux de proline des parties souterraines selon le test Newman-keuls à 5.

F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
1.0	F2n1	13,826	A	
2.0	F2n2	11,579		B

ANNEXES

Tableau 13. Comparaison des moyennes du facteur « salinité - *A. halimus* » pour le paramètre taux de proline des parties souterraines selon le test Newman-keuls à 5.

F1 F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES							
5.0 1.0	F1n5 F2n1	26,666	A							
5.0 2.0	F1n5 F2n2	22,934		B						
4.0 1.0	F1n4 F2n1	18,42			C					
4.0 2.0	F1n4 F2n2	15,69				D				
3.0 1.0	F1n3 F2n1	12,382					E			
3.0 2.0	F1n3 F2n2	10,902						F		
2.0 1.0	F1n2 F2n1	7,264							G	
2.0 2.0	F1n2 F2n2	5,314								
1.0 1.0	F1n1 F2n1	4,398								
1.0 2.0	F1n1 F2n2	3,054								

LIBELLES										
F1n5 F2n1										
F1n5 F2n2										
F1n4 F2n1										
F1n4 F2n2										
F1n3 F2n1										
F1n3 F2n2										
F1n2 F2n1										
F1n2 F2n2	H									
F1n1 F2n1	H									
F1n1 F2n2		I								

Annexe 10. Traitement statistique des résultats du paramètre taux de proline des parties aériennes des plantes de la tomate.

Tableau 14. Comparaison des moyennes du facteur « salinité » pour le paramètre taux de proline des parties aériennes selon le test Newman-keuls à 5.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES							
5.0	F1n5	29,392	A							
4.0	F1n4	21,084		B						
3.0	F1n3	14,898			C					
2.0	F1n2	9,617				D				
1.0	F1n1	5,974						E		

ANNEXES

Tableau 15. Comparaison des moyennes du facteur « *A. halimus* » pour le paramètre taux de proline des parties aériennes selon le test Newman-keuls à 5.

F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
1.0	F2n1	17,348	A	
2.0	F2n2	15,038		B

Tableau 16. Comparaison des moyennes du facteur « salinité - *A. halimus* » pour le paramètre taux de proline des parties aériennes selon le test Newman-keuls à 5.

F1 F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES						
5.0 1.0	F1n5 F2n1	31,368	A						
5.0 2.0	F1n5 F2n2	27,417		B					
4.0 1.0	F1n4 F2n1	22,556			C				
4.0 2.0	F1n4 F2n2	19,612				D			
3.0 1.0	F1n3 F2n1	15,565					E		
3.0 2.0	F1n3 F2n2	14,231						F	
2.0 1.0	F1n2 F2n1	10,402							G
2.0 2.0	F1n2 F2n2	8,831							
1.0 1.0	F1n1 F2n1	6,849							
1.0 2.0	F1n1 F2n2	5,099							

LIBELLE S									
F1n5 F2n1									
F1n5 F2n2									
F1n4 F2n1									
F1n4 F2n2									
F1n3 F2n1									
F1n3 F2n2									
F1n2 F2n1									
F1n2 F2n2	H								
F1n1 F2n1		I							
F1n1 F2n2			J						

ANNEXES

Annexe 11. Traitement statistique des résultats du paramètre taux des sucres solubles des parties souterraines des plantes de la tomate.

Tableau 17. Comparaison des moyennes du facteur « salinité » pour le paramètre taux des sucres solubles des parties souterraines selon le test Newman-keuls à 5.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES				
5.0	F1n5	32,845	A				
4.0	F1n4	21,825		B			
3.0	F1n3	16,672			C		
2.0	F1n2	14,995				D	
1.0	F1n1	12,192					E

Tableau 18. Comparaison des moyennes du facteur « salinité *A. halimus* » pour le paramètre taux des sucres solubles des parties souterraines selon le test Newman-keuls à 5.

F1 F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES					
5.0 2.0	F1n5 F2n2	33,427	A					
5.0 1.0	F1n5 F2n1	32,263	A					
4.0 1.0	F1n4 F2n1	23,497		B				
4.0 2.0	F1n4 F2n2	20,153			C			
3.0 1.0	F1n3 F2n1	17,503				D		
3.0 2.0	F1n3 F2n2	15,84				D	E	
2.0 2.0	F1n2 F2n2	15,17				D	E	
2.0 1.0	F1n2 F2n1	14,82					E	
1.0 2.0	F1n1 F2n2	13,523					E	
1.0 1.0	F1n1 F2n1	10,86						F

Annexe 12. Traitement statistique des résultats du paramètre taux des sucres solubles des parties aériennes des plantes de la tomate.

Tableau 19. Comparaison des moyennes du facteur « salinité » pour le paramètre taux des sucres solubles des parties aériennes selon le test Newman-keuls à 5.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES				
5.0	F1n5	75,76	A				
4.0	F1n4	54,627		B			
3.0	F1n3	35,583			C		
2.0	F1n2	29,743				D	
1.0	F1n1	22,692					E

ANNEXES

Tableau 20. Comparaison des moyennes du facteur « salinité - *A. halimus* » pour le paramètre taux des sucres solubles des parties aériennes selon le test Newman-keuls à 5.

F1 F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES						
5.0 2.0	F1n5 F2n2	77,443	A						
5.0 1.0	F1n5 F2n1	74,077	A						
4.0 1.0	F1n4 F2n1	55,8		B					
4.0 2.0	F1n4 F2n2	53,453		B					
3.0 1.0	F1n3 F2n1	40,067			C				
2.0 1.0	F1n2 F2n1	32,503				D			
3.0 2.0	F1n3 F2n2	31,1				D			
2.0 2.0	F1n2 F2n2	26,983				D	E		
1.0 2.0	F1n1 F2n2	24,887					E	F	
1.0 1.0	F1n1 F2n1	20,497							F

Annexe 13. Traitement statistique des résultats du paramètre teneur en sodium des parties souterraines des plantes de la tomate.

Tableau 21. Comparaison des moyennes du facteur « salinité » pour le paramètre teneur en sodium des parties souterraines selon le test Newman-keuls à 5.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES				
5.0	F1n5	6,886	A				
4.0	F1n4	6,077		B			
3.0	F1n3	5,463			C		
2.0	F1n2	4,131				D	
1.0	F1n1	2,628					E

Tableau 22. Comparaison des moyennes du facteur « *A. halimus* » pour le paramètre teneur en sodium des parties souterraines selon le test Newman-keuls à 5.

F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
1.0	F2n1	5,29	A	
2.0	F2n2	4,784		B

Tableau 23. Comparaison des moyennes du facteur « salinité - *A. halimus* » pour le paramètre teneur en sodium des parties souterraines selon le test Newman-keuls à 5.

F1 F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES					
5.0 1.0	F1n5 F2n1	7,458	A					
4.0 1.0	F1n4 F2n1	6,704		B				
5.0 2.0	F1n5 F2n2	6,314		B				
3.0 2.0	F1n3 F2n2	5,494			C			
4.0 2.0	F1n4 F2n2	5,45			C			
3.0 1.0	F1n3 F2n1	5,432			C			
2.0 1.0	F1n2 F2n1	4,222				D		
2.0 2.0	F1n2 F2n2	4,04				D		
1.0 1.0	F1n1 F2n1	2,636						E
1.0 2.0	F1n1 F2n2	2,62						E

Annexe 14. Traitement statistique des résultats du paramètre teneur en sodium des parties aériennes des plantes de la tomate.

Tableau 24. Comparaison des moyennes du facteur « salinité » pour le paramètre teneur en sodium des parties aériennes selon le test Newman-keuls à 5.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES					
5.0	F1n5	11,895	A					
4.0	F1n4	9,51		B				
3.0	F1n3	7,786			C			
2.0	F1n2	6,37				D		
1.0	F1n1	5,015						E

Tableau 25. Comparaison des moyennes du facteur « *A. halimus* » pour le paramètre teneur en sodium des parties aériennes selon le test Newman-keuls à 5.

F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
1.0	F2n1	8,575	A	
2.0	F2n2	7,655		B

ANNEXES

Tableau 26. Comparaison des moyennes du facteur «salinité - *A. halimus* » pour le paramètre teneur en sodium des parties aériennes selon le test Newman-keuls à 5.

F1 F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES						
5.0 2.0	F1n5 F2n2	12,206	A						
5.0 1.0	F1n5 F2n1	11,584	A						
4.0 1.0	F1n4 F2n1	10,53		B					
3.0 1.0	F1n3 F2n1	8,802			C				
4.0 2.0	F1n4 F2n2	8,49			C				
2.0 1.0	F1n2 F2n1	6,8				D			
3.0 2.0	F1n3 F2n2	6,77				D			
2.0 2.0	F1n2 F2n2	5,94					E		
1.0 1.0	F1n1 F2n1	5,16							F
1.0 2.0	F1n1 F2n2	4,87							F

Annexe 15. Traitement statistique des résultats du paramètre teneur en potassium des parties souterraines des plantes de la tomate.

Tableau 27. Comparaison des moyennes du facteur « salinité » pour le paramètre teneur en potassium des parties souterraines selon le test Newman-keuls à 5.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES						
1.0	F1n1	23,883	A						
2.0	F1n2	21,231		B					
3.0	F1n3	19,226			C				
4.0	F1n4	18,132				D			
5.0	F1n5	16,305							E

Tableau 28. Comparaison des moyennes du facteur « *A. halimus* » pour le paramètre teneur en potassium des parties souterraines selon le test Newman-keuls à 5.

F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
2.0	F2n2	20,007	A	
1.0	F2n1	19,504		B

Annexe 16. Traitement statistique des résultats du paramètre teneur en potassium des parties aériennes des plantes de la tomate.

Tableau 29. Comparaison des moyennes du facteur «salinité» pour le paramètre teneur en potassium des parties aériennes selon le test Newman-keuls à 5.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES			
1.0	F1n1	34,735	A			
2.0	F1n2	30,406		B		
3.0	F1n3	26,496			C	
4.0	F1n4	22,696				D
5.0	F1n5	19,137				E

Tableau 30. Comparaison des moyennes du facteur «salinité - *A. halimus*» pour le paramètre teneur en potassium des parties aériennes selon le test Newman-keuls à 5.

F1 F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES			
1.0 2.0	F1n1 F2n2	35,572	A			
1.0 1.0	F1n1 F2n1	33,899	A			
2.0 2.0	F1n2 F2n2	32,756	A	B		
2.0 1.0	F1n2 F2n1	28,056		B	C	
3.0 2.0	F1n3 F2n2	26,941			C	
3.0 1.0	F1n3 F2n1	26,051			C	
4.0 2.0	F1n4 F2n2	24,297			C	
5.0 1.0	F1n5 F2n1	21,794			C	D
4.0 1.0	F1n4 F2n1	21,095			C	D
5.0 2.0	F1n5 F2n2	16,479				D

Annexe 17. Traitement statistique des résultats du paramètre teneur en calcium des parties souterraines des plantes de la tomate.

Tableau 31. Comparaison des moyennes du facteur «salinité» pour le paramètre teneur en calcium des parties souterraines selon le test Newman-keuls à 5.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES			
1.0	F1n1	31,388	A			
2.0	F1n2	29,146		B		
3.0	F1n3	20,926			C	
4.0	F1n4	17,888				D
5.0	F1n5	11,752				E

Tableau 32. Comparaison des moyennes du facteur « *A. halimus* » pour le paramètre teneur en calcium des parties souterraines selon le test Newman-keuls à 5.

F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
2.0	F2n2	22,921	A	
1.0	F2n1	21,519		B

Tableau 33. Comparaison des moyennes du facteur « salinité - *A. halimus* » pour le paramètre teneur en calcium des parties souterraines selon le test Newman-keuls à 5.

F1 F2	LIBELLE S	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES						
1.0 1.0	F1n1 F2n1	31,86	A						
1.0 2.0	F1n1 F2n2	30,916	A						
2.0 2.0	F1n2 F2n2	30,65	A						
2.0 1.0	F1n2 F2n1	27,642		B					
3.0 2.0	F1n3 F2n2	21,962			C				
3.0 1.0	F1n3 F2n1	19,89				D			
4.0 2.0	F1n4 F2n2	19,704				D			
4.0 1.0	F1n4 F2n1	16,072					E		
5.0 1.0	F1n5 F2n1	12,13							F
5.0 2.0	F1n5 F2n2	11,374							F

Annexe 18. Traitement statistique des résultats du paramètre teneur en potassium des parties aériennes des plantes de la tomate.

Tableau 34. Comparaison des moyennes du facteur « salinité » pour le paramètre teneur en calcium des parties aériennes selon le test Newman-keuls à 5.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES				
1.0	F1n1	35,39	A				
2.0	F1n2	33,548		B			
3.0	F1n3	25,294			C		
4.0	F1n4	23,342				D	
5.0	F1n5	18,506					E

Tableau 35. Comparaison des moyennes du facteur « *A. halimus* » pour le paramètre teneur en calcium des parties aériennes selon le test Newman-keuls à 5.

F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
2.0	F2n2	28,445	A	
1.0	F2n1	25,987		B

Tableau 36. Comparaison des moyennes du facteur « salinité - *A. halimus* » pour le paramètre teneur en calcium des parties aériennes selon le test Newman-keuls à 5.

F1 F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES						
2.0 2.0	F1n2 F2n2	35,697	A						
1.0 1.0	F1n1 F2n1	35,576	A						
1.0 2.0	F1n1 F2n2	35,203	A						
2.0 1.0	F1n2 F2n1	31,4		B					
3.0 2.0	F1n3 F2n2	26,697			C				
4.0 2.0	F1n4 F2n2	24,084				D			
3.0 1.0	F1n3 F2n1	23,892				D			
4.0 1.0	F1n4 F2n1	22,6				D			
5.0 2.0	F1n5 F2n2	20,544					E		
5.0 1.0	F1n5 F2n1	16,467							F

Annexe 19. Traitement statistique des résultats du paramètre peroxydase des parties souterraines des plantes de la tomate.

Tableau 37. Comparaison des moyennes du facteur « salinité » pour le paramètre peroxydase des parties souterraines selon le test Newman-keuls à 5.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES			
3.0	F1n3	0,357	A			
4.0	F1n4	0,34	A	B		
2.0	F1n2	0,298		B		
1.0	F1n1	0,198			C	
5.0	F1n5	0,073				D

Tableau 38. Comparaison des moyennes du facteur « *A. halimus* » pour le paramètre peroxydase des parties souterraines selon le test Newman-keuls à 5.

F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
1.0	F2n1	0,271	A	
2.0	F2n2	0,235	B	

Tableau 39. Comparaison des moyennes du facteur «salinité - *A. halimus* » pour le paramètre peroxydase des parties souterraines selon le test Newman-keuls à 5.

F1 F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES						
4.0 1.0	F1n4 F2n1	0,413	A						
3.0 1.0	F1n3 F2n1	0,383	A	B					
3.0 2.0	F1n3 F2n2	0,33		B	C				
2.0 1.0	F1n2 F2n1	0,32		B	C	D			
2.0 2.0	F1n2 F2n2	0,277			C	D			
4.0 2.0	F1n4 F2n2	0,267			C	D			
1.0 2.0	F1n1 F2n2	0,23				D	E		
1.0 1.0	F1n1 F2n1	0,167					E		
5.0 1.0	F1n5 F2n1	0,073							F
5.0 2.0	F1n5 F2n2	0,073							F

Annexe 20. Traitement statistique des résultats du paramètre peroxydase des parties aériennes des plantes de la tomate.

Tableau 40. Comparaison des moyennes du facteur « salinité » pour le paramètre peroxydase des parties aériennes selon le test Newman-keuls à 5.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES			
4.0	F1n4	0,133	A			
3.0	F1n3	0,093	B			
2.0	F1n2	0,073	C			
5.0	F1n5	0,067	C			
1.0	F1n1	0,042	D			

ANNEXES

Tableau 41. Comparaison des moyennes du facteur « *A. halimus* » pour le paramètre peroxydase des parties aériennes selon le test Newman-keuls à 5.

F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
1.0	F2n1	0,087	A	
2.0	F2n2	0,077		B

Tableau 42. Comparaison des moyennes du facteur « salinité - *A. halimus* » pour le paramètre peroxydase des parties aériennes selon le test Newman-keuls à 5.

F1 F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES			
4.0 1.0	F1n4 F2n1	0,137	A			
4.0 2.0	F1n4 F2n2	0,13	A			
3.0 1.0	F1n3 F2n1	0,113	A			
2.0 1.0	F1n2 F2n1	0,081		B		
5.0 2.0	F1n5 F2n2	0,075		B	C	
3.0 2.0	F1n3 F2n2	0,074		B	C	
2.0 2.0	F1n2 F2n2	0,065		B	C	D
5.0 1.0	F1n5 F2n1	0,06		B	C	D
1.0 1.0	F1n1 F2n1	0,044			C	D
1.0 2.0	F1n1 F2n2	0,04				D

Annexe 21. Traitement statistique des résultats du paramètre catalase des parties souterraines des plantes de la tomate.

Tableau 43. Comparaison des moyennes du facteur « salinité » pour le paramètre catalase des parties souterraines selon le test Newman-keuls à 5.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES			
3.0	F1n3	4,028	A			
2.0	F1n2	2,532		B		
5.0	F1n5	2,152			C	
4.0	F1n4	1,992			C	D
1.0	F1n1	1,707				D

Tableau 44. Comparaison des moyennes du facteur «salinité - *A. halimus* » pour le paramètre catalase des parties souterraines selon le test Newman-keuls à 5.

F1 F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES					
3.0 1.0	F1n3 F2n1	4,347	A					
3.0 2.0	F1n3 F2n2	3,71		B				
2.0 1.0	F1n2 F2n1	2,66			C			
2.0 2.0	F1n2 F2n2	2,403			C	D		
5.0 2.0	F1n5 F2n2	2,25			C	D		
4.0 1.0	F1n4 F2n1	2,14			C	D		
1.0 2.0	F1n1 F2n2	2,093			C	D		
5.0 1.0	F1n5 F2n1	2,053			C	D		
4.0 2.0	F1n4 F2n2	1,843				D		
1.0 1.0	F1n1 F2n1	1,32						E

Annexe 22. Traitement statistique des résultats du paramètre catalase des parties aériennes des plantes de la tomate.

Tableau 45. Comparaison des moyennes du facteur « salinité » pour le paramètre catalase des parties aériennes selon le test Newman-keuls à 5.

F1	LIBELLES	MOYENNE S	GROUPES HOMOGENES					
5.0	F1n5	2,115	A					
4.0	F1n4	1,915		B				
3.0	F1n3	1,627			C			
1.0	F1n1	1,003				D		
2.0	F1n2	0,758					E	

Tableau 46. Comparaison des moyennes du facteur « salinité - *A. halimus* » pour le paramètre catalase des parties aériennes selon le test Newman-keuls à 5.

F1 F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES					
5.0 2.0	F1n5 F2n2	77,443	A					
5.0 1.0	F1n5 F2n1	74,077	A					
4.0 1.0	F1n4 F2n1	55,8		B				
4.0 2.0	F1n4 F2n2	53,453		B				
3.0 1.0	F1n3 F2n1	40,067			C			
2.0 1.0	F1n2 F2n1	32,503				D		
3.0 2.0	F1n3 F2n2	31,1				D		
2.0 2.0	F1n2 F2n2	26,983				D	E	
1.0 2.0	F1n1 F2n2	24,887					E	F
1.0 1.0	F1n1 F2n1	20,497						F

Annexe 23. Traitement statistique des résultats du paramètre teneur en flavonoïdes des plantes de la tomate.

Tableau 47. Comparaison des moyennes du facteur « salinité » pour le paramètre teneur en flavonoïdes selon le test Newman-keuls à 5.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
5.0	F1n5	3,76	A	
4.0	F1n4	3,13	A	
3.0	F1n3	2,656	A	B
2.0	F1n2	2,364	A	B
1.0	F1n1	1,164		B

Annexe 24. Traitement statistique des résultats du paramètre teneur en phénol totaux des plantes de la tomate.

Tableau 48. Comparaison des moyennes du facteur « salinité » pour le paramètre teneur en phénol totaux selon le test Newman-keuls à 5.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
5.0	F1n5	24,513	A	
4.0	F1n4	24,293	A	
3.0	F1n3	23,644	A	
2.0	F1n2	23,31	A	
1.0	F1n1	21,539		B

Annexe 25. Traitement statistique des résultats du paramètre nombre des feuilles par plante de l'*Atriplex halimus* L.

Tableau 49. Comparaison des moyennes du facteur « salinité » pour le paramètre nombre des feuilles par plante selon le test Newman-keuls à 5.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES			
1.0	F1n1	496,6	A			
2.0	F1n2	444		B		
3.0	F1n3	428,4		B		
4.0	F1n4	392			C	
5.0	F1n5	326,6				D

Annexe 26. Traitement statistique des résultats du paramètre surface foliaire des plantes de l'*Atriplex halimus* L.

Tableau 50. Comparaison des moyennes du facteur « salinité» pour le paramètre surface foliaire selon le test Newman-keuls à 5.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
5.0	F1n5	29,912	A	
4.0	F1n4	27,93	A	
3.0	F1n3	22,066	A	B
2.0	F1n2	17,21		B
1.0	F1n1	14,351		B

Annexe 27. Traitement statistique des résultats du paramètre teneur relative en eau des plantes de l'*Atriplex halimus* L.

Tableau 51. Comparaison des moyennes du facteur « salinité» pour le paramètre teneur relative en eau selon le test Newman-keuls à 5.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES			
1.0	F1n1	83,566	A			
2.0	F1n2	80,089	A	B		
3.0	F1n3	72,445		B	C	
4.0	F1n4	66,014			C	D
5.0	F1n5	61,118				D

Annexe 28. Traitement statistique des résultats du paramètre teneur en chlorophylle a des plantes de l'*Atriplex halimus* L.

Tableau 52. Comparaison des moyennes du facteur « salinité» pour le paramètre teneur en chlorophylle a selon le test Newman-keuls à 5.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
3.0	F1n3	1,296	A	
1.0	F1n1	1,175	A	
2.0	F1n2	1,136	A	
4.0	F1n4	0,846	A	B
5.0	F1n5	0,684		B

Annexe 29. Traitement statistique des résultats du paramètre teneur en chlorophylle b des plantes de l'*Atriplex halimus* L.

Tableau 53. Comparaison des moyennes du facteur « salinité» pour le paramètre teneur en chlorophylle b selon le test Newman-keuls à 5.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES		
3.0	F1n3	0,856	A		
2.0	F1n2	0,794	A		
1.0	F1n1	0,777	A		
4.0	F1n4	0,57		B	
5.0	F1n5	0,466			C

Annexe 30. Traitement statistique des résultats du paramètre teneur en chlorophylle a+b des plantes de l'*Atriplex halimus* L.

Tableau 54. Comparaison des moyennes du facteur « salinité» pour le paramètre teneur en chlorophylle a+b selon le test Newman-keuls à 5.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES		
3.0	F1n3	2,152	A		
1.0	F1n1	1,952	A		
2.0	F1n2	1,931	A		
4.0	F1n4	1,417		B	
5.0	F1n5	1,15		B	

Annexe 31. Traitement statistique des résultats du paramètre teneur en proline des parties souterraines des plantes de l'*Atriplex halimus* L.

Tableau 55. Comparaison des moyennes du facteur « salinité» pour le paramètre teneur en proline des parties souterraines selon le test Newman-keuls à 5.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES			
5.0	F1n5	34,172	A			
4.0	F1n4	29,14		B		
3.0	F1n3	23,74			C	
1.0	F1n1	5,972				D
2.0	F1n2	5,438				D

Annexe 32. Traitement statistique des résultats du paramètre teneur en proline des parties aériennes des plantes de l'*Atriplex halimus* L.

Tableau 56. Comparaison des moyennes du facteur « salinité» pour le paramètre teneur en proline des parties aériennes selon le test Newman-keuls à 5.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES		
5.0	F1n5	37,962	A		
4.0	F1n4	35,892	A		
3.0	F1n3	28,289		B	
1.0	F1n1	8,265			C
2.0	F1n2	7,39			C

Annexe 33. Traitement statistique des résultats du paramètre teneur en sucres solubles des parties souterraines des plantes de l'*Atriplex halimus* L.

Tableau 57. Comparaison des moyennes du facteur « salinité» pour le paramètre teneur en sucres solubles des parties souterraines selon le test Newman-keuls à 5.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES				
5.0	F1n5	39,373	A				
4.0	F1n4	33,363		B			
3.0	F1n3	28,033			C		
2.0	F1n2	15,827				D	
1.0	F1n1	13,847					E

Annexe 34. Traitement statistique des résultats du paramètre teneur en sucres solubles des parties aériennes des plantes de l'*Atriplex halimus* L.

Tableau 58. Comparaison des moyennes du facteur « salinité» pour le paramètre teneur en sucres solubles des parties aériennes selon le test Newman-keuls à 5.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES				
5.0	F1n5	114,1	A				
3.0	F1n3	87,257		B			
4.0	F1n4	63,99			C		
2.0	F1n2	53,243				D	
1.0	F1n1	30,807					E

ANNEXES

Annexe 35. Traitement statistique des résultats du paramètre teneur en sodium des parties aériennes des plantes de l'*Atriplex halimus* L.

Tableau 59. Comparaison des moyennes du facteur « salinité» pour le paramètre teneur en sodium des parties aériennes selon le test Newman-keuls à 5.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES			
5.0	F1n5	23,1	A			
4.0	F1n4	16,51		B		
3.0	F1n3	13,17			C	
2.0	F1n2	10,81				D
1.0	F1n1	6,85				E

Annexe 36. Traitement statistique des résultats du paramètre teneur en sodium des parties souterraines des plantes de l'*Atriplex halimus* L.

Tableau 60. Comparaison des moyennes du facteur « salinité» pour le paramètre teneur en sodium des parties souterraines selon le test Newman-keuls à 5.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES			
5.0	F1n5	10,022	A			
4.0	F1n4	8,018		B		
3.0	F1n3	7,224			C	
2.0	F1n2	6,838			C	
1.0	F1n1	5,526				D

Annexe 37. Traitement statistique des résultats du paramètre teneur en potassium des parties aériennes des plantes de l'*Atriplex halimus* L.

Tableau 61. Comparaison des moyennes du facteur « salinité» pour le paramètre teneur en potassium des parties aériennes selon le test Newman-keuls à 5.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES			
1.0	F1n1	32,608	A			
2.0	F1n2	30,317	A			
3.0	F1n3	23,714		B		
4.0	F1n4	21,651		B	C	
5.0	F1n5	17,584			C	

Annexe 38. Traitement statistique des résultats du paramètre teneur en potassium des parties souterraines des plantes de l'*Atriplex halimus* L.

Tableau 62. Comparaison des moyennes du facteur « salinité» pour le paramètre teneur en potassium des parties souterraines selon le test Newman-keuls à 5.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES				
1.0	F1n1	28,692	A				
2.0	F1n2	26,838		B			
3.0	F1n3	21,12			C		
4.0	F1n4	18,21				D	
5.0	F1n5	16,096					E

Annexe 39. Traitement statistique des résultats du paramètre teneur en calcium des parties aériennes des plantes de l'*Atriplex halimus* L.

Tableau 63. Comparaison des moyennes du facteur « salinité» pour le paramètre teneur en calcium des parties aériennes selon le test Newman-keuls à 5.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES				
1.0	F1n1	37,19	A				
2.0	F1n2	30,84		B			
3.0	F1n3	25,591			C		
4.0	F1n4	23,057				D	
5.0	F1n5	20,19					E

Annexe 40. Traitement statistique des résultats du paramètre teneur en calcium des parties souterraines des plantes de l'*Atriplex halimus* L.

Tableau 64. Comparaison des moyennes du facteur « salinité» pour le paramètre teneur en calcium des parties souterraines selon le test Newman-keuls à 5.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES				
1.0	F1n1	32,84	A				
2.0	F1n2	26,824		B			
3.0	F1n3	19,13			C		
4.0	F1n4	16,9					D
5.0	F1n5	15,709					D

Annexe 41. Traitement statistique des résultats du paramètre teneur en peroxydase des parties aériennes des plantes de l'*Atriplex halimus* L.

Tableau 65. Comparaison des moyennes du facteur « salinité» pour le paramètre teneur en peroxydase des parties aériennes selon le test Newman-keuls à 5.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES			
4.0	F1n4	3,803	A			
3.0	F1n3	3,123		B		
2.0	F1n2	2,237			C	
5.0	F1n5	2,183			C	
1.0	F1n1	1,063				D

Annexe 42. Traitement statistique des résultats du paramètre teneur en peroxydase des parties aériennes des plantes de l'*Atriplex halimus* L.

Tableau 66. Comparaison des moyennes du facteur « salinité» pour le paramètre teneur en peroxydase des parties aériennes selon le test Newman-keuls à 5.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES			
4.0	F1n4	5,147	A			
3.0	F1n3	4,583		B		
2.0	F1n2	3,983			C	
1.0	F1n1	2,247				D
5.0	F1n5	2,087				D

Annexe 43. Traitement statistique des résultats du paramètre teneur en catalase des parties aériennes des plantes de l'*Atriplex halimus* L.

Tableau 67. Comparaison des moyennes du facteur « salinité» pour le paramètre teneur en catalase des parties aériennes selon le test Newman-keuls à 5.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES			
5.0	F1n5	2,283	A			
4.0	F1n4	1,89		B		
3.0	F1n3	1,637			C	
2.0	F1n2	0,96				D
1.0	F1n1	0,897				D

ANNEXES

Annexe 44. Traitement statistique des résultats du paramètre teneur en catalase des parties souterraines des plantes de l'*Atriplex halimus* L.

Tableau 68. Comparaison des moyennes du facteur « salinité» pour le paramètre teneur en catalase des parties souterraines selon le test Newman-keuls à 5.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES		
3.0	F1n3	2,7	A		
4.0	F1n4	1,637		B	
1.0	F1n1	1,43		B	C
5.0	F1n5	1,38		B	C
2.0	F1n2	1,03			C

Annexe 45. Traitement statistique des résultats du paramètre teneur en flavonoïdes des plantes de l'*Atriplex halimus* L.

Tableau 69. Comparaison des moyennes du facteur « salinité» pour le paramètre teneur en flavonoïdes selon le test Newman-keuls à 5.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES			
5.0	F1n5	4,868	A			
4.0	F1n4	4,08		B		
3.0	F1n3	3,454		B		
2.0	F1n2	2,632			C	
1.0	F1n1	1,807				D

Annexe 46. Traitement statistique des résultats du paramètre teneur en phénol totaux des plantes de l'*Atriplex halimus* L.

Tableau 70. Comparaison des moyennes du facteur « salinité» pour le paramètre teneur en phénol totaux selon le test Newman-keuls à 5.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES		
5.0	F1n5	26,3	A		
4.0	F1n4	24,843	A	B	
3.0	F1n3	23,461		B	C
2.0	F1n2	22,832		B	C
1.0	F1n1	22,219			C

Annexe 47.

Tableau 71. Composition chimique de la solution nutritive (WUXAL Macromix).

Produit	Composition	pourcentage
Azote total	N	24
Phosphate	P ₂ O ₅	24
Potassium	K ₂ O	18
Bore	B	0.075
Cuivre	Cu *	0.15
Fer	Fe*	0.075
Manganèse	Mn*	0.0015
Molybdène	Mo	0.07
Zinc	Zn	0.15