

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT DES SCIENCES
AGRONOMIQUES



DOMAINE : SCIENCE DE LA NATURE
ET DE LA VIE
FILIERE : SCIENCE AGRONOMIQUE
OPTION : PRODUCTION VEGETALE

N° :

**Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique**

Par: M^{elle} BENABDALLAH Hadjer

M^{elle} DAOUD Nouara

Intitulé

**Effet du stress salin sur le comportement de
quelques écotypes du figuier de barbarie
(*Opuntia ficus indica* Mill.) dans la région de
Hodna.**

Soutenu devant le jury composé de:

M ^r . TELLACHE S.	M.A.A	Université de M'sila	Président
Mme. LALLOUCHE B.	M.C.B	Université de M'sila	Rapporteur
M ^r . HADJKOUIDER B.	M.C.B	Université de M'sila	Co-Rapporteur
M ^r . TORCHIT N.	M.A.A	Université de M'sila	Examineur

Année universitaire : 2017/2018

REMERCIEMENTS

En préambule à ce mémoire nous remerciant ALLAH qui nous aide et nous donne la patience et le courage durant ces longues années d'étude.

Nous tenant à remercier sincèrement **Mm LALLOUCHE** et **Mr HADJKOUIDER**, qui, en tant que Directeurs de mémoire, se sont toujours montrés à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'ils ont bien voulu nous consacrer et sans qui ce mémoire n'aurait jamais vu le jour.

Nous tenons également à remercier messieurs les membres de jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant de siéger à notre soutenance, tout particulièrement :

Mr TELLACHE S. pour nous avoir fait l'honneur de présider le jury de cette mémoire.

Mr TORCHIT N. pour avoir accepté d'examiner ce travail.

On n'oublie pas l'équipe de Laboratoire d'Amélioration des Plantes pour leur contribution et leur soutien.

Nous souhaitant également d'adresser nos remerciements les plus sincères aux personnes qui nous ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire ainsi qu'à la réussite de cette formidable année universitaire.

Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à nos parents pour leur soutien et leur patience et à tous nos proches et amis, qui nous ont toujours encouragés au cours de la réalisation de ce mémoire.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

À mon cher père, en signe d'amour, de reconnaissance et de gratitude pour tous les soutiens et les sacrifices dont il a fait preuve à mon égard.

À ma chère mère, qui m'a encouragé à aller de l'avant et qui m'a donné tout son amour pour reprendre mes études.

À ma chère sœur KHADIDJA, mes chers frères YUCEF, TOUFIQUE et ISMAIL et ma nièce DJIHANE, a merci d'être toujours à mes côtés, par votre présence, par votre amour, pour donner du gout et du sens à notre vie de famille.

*À toute ma famille À mes chères amies À tous ceux
qui me sont chers.*

À mes professeurs.

*À tous mes collègues et amis du master 2 spécialité production
végétale.*

Benabdallah Hadjer

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A la personne la plus chère dans le monde, la lumière de ma vie, la source de tendresse, celle qui a sacrifiée et souffert les plus belles années de sa vie pour me voir un jour réussir :

« Mon cher père »

A celle qui la plus noble qui par son courage a consacré tous ses efforts, et ses moyens pour m'aider à accomplir ce mémoire, et pour me faire réussir

« Ma mère »

A mes frères : FARIS, MOHAMED, IBRAHIM.

A mes sœurs : MARIEM, CHAHD.

Et ma nièce « KHADIDJA »

A mes oncles et oncles

Et toute ma famille grande et petite.

A mon fiancé et sa famille.

Sans oublier mes chères amies : FATIMA, IMANE, IBTISSAM,

RAWDHA et à mon binôme dans ce travail : HADJER

et tous mes amies en 2^{ème} année master promotion 2017-2018

NOUARA

RESUME

Afin de sélectionner des espèces d'*Opuntia* tolérante à la salinité et identifier les paramètres les plus discriminants et les marqueurs de tolérance, nous avons analysé et évalué, le comportement de quatre écotypes du figuier de barbarie (Tolba, Mouchebbek, Maader, Oueled Darradj) vis-à-vis d'une contrainte saline. À cet effet, des cladodes homogènes, sont cultivés en pots remplis de sable inerte. Quatre concentrations de NaCl 0 (témoin), 200 mM, 400 mM et 600 mM ont été appliqués pendant 90 jours. Poids frais des racines, longueur de racine la plus longue, teneur en proline et en sucres solubles totales au niveau des racines et au niveau des cladodes, teneur en chlorophylle « a », « b » et « totale » ont été analysés. Les résultats ont montré que le stress salin a un effet dépressif sur la croissance et le développement des différents écotypes du figuier barbarie. Les teneurs en proline et en sucres solubles augmentent. D'après l'analyse de la variance et la comparaison de $F_{\text{observé}}$, la teneur en sucres solubles totales au niveau des racines admis comme marqueur biochimique de stress. Les résultats obtenus suivant cette stratégie montrent l'écotype Maader est plus tolérant au stress salin que les autres écotypes. Ainsi, d'après nos analyses, il s'avère que le degré de tolérance de l'écotype Maader est étroitement reposant sur sa capacité d'accumulation de sucres solubles au niveau des racines.

Mots-clés: Fiquier de barbarie, écotypes, stress salin, marqueur morphologique, marqueur physiologique, marqueur biochimique.

ABSTRACT

In order to select Salt-tolerant *Opuntia* species and to identify the most discriminating parameters and tolerance markers, we analyzed and evaluated the behavior of four barbarous fig tree ecotypes (Tolba, Mouchebbek, Maader, Oueled Darradj). Against a salt stress. For this purpose, homogeneous cladodes are grown in pots filled with inert sand. Four concentrations of NaCl O (control), 200 mM, 400 mM and 600 mM were applied for 90 days. Fresh root weight, longest root length, proline content and total soluble sugars in root and cladodes, chlorophyll content "a", "b" and "total" were analyzed. The results showed that salt stress has a depressive effect on the growth and development of different ecotypes of the barbaric fig tree. The contents of proline and soluble sugars increase. From the analysis of the variance and the comparison of observations observed, the content of total soluble sugars at the level of the roots admitted as a biochemical stress marker. The results obtained according to this strategy show the Maader ecotype is more tolerant to salt stress than other ecotypes. Thus, according to our analyzes, it turns out that the degree of tolerance of the Maader cotype is closely based on its ability to accumulate soluble sugars in the roots.

Keywords: Prickly pear, ecotypes, salt stress, morphological marker, physiological marker, biochemical marker.

ملخص

لتحديد أنواع (Opuntia) الصبار الأكثر تحملا للملوحة وتحديد الخصائص الأكثر تمييزا وعلامات المقاومة، قمنا بتحليل وتقييم سلوك أربعة أنماط بيئية من التين الشوكي (الطلبة، مشبك، المعذر، أولاد دارج) في مواجهة الإجهاد الملحي. لهذا الغرض، تزرع أظلاف متجانسة في أكياس مليئة بالرمل الخامل. تم تطبيق أربعة تراكيز، 200ملي مول، 400 ملي مول، 600 ملي مول من كلوريد الصوديوم لمدة 90 يوما. وقد تم تحليل الوزن الطازج طول الجذر، الأكبر طولاً، ومحتوى البرولين والسكريات الكلية المذابة في الجذور وفي الاظلف، اليخضور "ا"، "ب" و "و" واليخضور الكلي. وأظهرت النتائج أن الإجهاد الملحي له تأثير سلبي على نمو وتطور الأنماط البيئية المختلفة للتين الشوكي. محتويات البرولين والسكريات القابلة للذوبان مرتفعة ووفقاً لتحليل التباين ومقارنة $F_{\text{observé}}$ فإن محتوى السكر المذاب في الجذور اعترف كعلامة بيوكيميائية من الإجهاد. تظهر النتائج التي تم الحصول عليها وفقاً لهذه الإستراتيجية أن النمط البيئي المعذر أكثر مقاومة مع الإجهاد الملحي من الأنواع البيئية الأخرى. وبالتالي، وفقاً لتحليلنا، يبدو أن مستوى المقاومة من نمط المعذر يستند بشكل وثيق على قدرتها على تراكم السكريات الذائبة في الجذور.

الكلمات المفتاحية:

التين الشوكي، الأنماط البيئية، الإجهاد الملحي، العلامة المورفولوجية، العلامة الفيزيولوجية، العلامة البيوكيميائية.

TABLE DE MATIERE

REMERCIEMENT	
RESUME	
TABLE DE MATIERE	
LISTE DES FIGURES	
LISTE DES TABLEAUX	
LISTE D'ABREVIATION	
INTRODUCTION.....	10
	10
CHAPITRE I : GENERALITE SUR LE FIGUIER DE BARBARIE	
1.1 Historique et origine.....	10
1.2 Répartition dans le monde et en Algérie.....	10
1.3 Systématique.....	14
1.4 Description morphologique.....	15
1.5 Conduites et techniques culturelles.....	16
1.6 Ecophysiologie de la plante.....	18
1.7 Maladies et parasites des <i>Opuntias</i>	19
1.8 Intérêt de figuier de barbarie.....	20
	27
CHAPITRE 2: LE STRESS SALIN	
2.1 Généralité sur la salinité.....	27
2.2 Salinité et la plante.....	29
2.3 Mécanisme d'adaptation des plantes à la salinité.....	33
	36
CHAPITRE III : MATÉRIELS ET MÉTHODES	
3.1 Matériel végétal.....	36
3.2 Lieu de l'expérimentation.....	37
3.3 Données climatique.....	37
3.4 Dispositif expérimental.....	38
3.5 Protocole expérimental	39
3.6 Les paramètres étudiés.....	39
3.6.1 Teneur en proline au niveau des racines et au niveau des cladodes.....	40
3.6.2 Teneur en sucres totale au niveau des racines et au niveau des cladodes.....	41
3.6.3 Teneur en chlorophylle « a », « b », « totale ».....	42
3.7 Analyse statistique.....	42
	43
CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSIONS	
4.1 Effet du stress salin sur poids frais de racine (g).....	43
4.2 Effet du stress salin sur la longueur de racine la plus longue.....	44
4.3 Effet du stress salin sur la teneur en proline au niveau des racines.....	45
4.4 Effet du stress salin sur la teneur en proline au niveau des cladodes.....	46
4.5 Effet du stress salin sur la teneur en sucres solubles totales au niveau des racines.....	47
4.6 Effet du stress salin sur la teneur en sucres solubles totales au niveau des cladodes.....	48
4.7 Effet du stress salin sur teneur en chlorophylle « a ».....	49
4.8 Effet du stress salin sur teneur en chlorophylle « b ».....	49
4.9 Effet du stress salin sur teneur en chlorophylle totale.....	49

4.10 Classification des différents écotypes du figuier de barbarie étudiés en groupes homogènes, selon le test Newman-Keuls, pour le paramètre le plus discriminant.....	49
DISCUSSIONS.....	51
CONCLUSION.....	54
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	
ANNEXES	

LISTE DES FIGURES

Figure 3.1	Sites de prélèvements du matériel végétal	36
Figure 3.2	Dispositif expérimental adopté.....	38
Figure 3.3	Matériel végétale analysée.....	39
Figure 3.4	Dosage de proline.....	41
Figure 3.5	Dosage de sucres solubles totaux.....	41
Figure 3.6	Dosage de chlorophylle.....	42
Figure 4.1	Effet du stress salin sur poids frais de racine (g).....	43
Figure 4.2	Effet du stress salin sur la longueur de racine la plus longue (cm).....	44
Figure 4.3	Effet du stress salin sur la teneur en proline au niveau des racines.....	45
Figure 4.4	Effet du stress salin sur la teneur en proline au niveau des cladodes.....	46
Figure 4.5	Teneur en sucres solubles totales au niveau des racines en fonction de NaCl.....	47
Figure 4.6	Teneur en sucres solubles totales au niveau des cladodes en fonction de NaCl.....	48

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1	Composition de la figue de barbarie « <i>Opuntia ficus-indica</i> ».....	27
Tableau 3.1	Liste des quatre écotypes étudiés avec leurs caractéristiques agro-écologiques.....	36
Tableau 3.2	Température mensuelle moyenne, minimale et maximale (°C).....	37
Tableau 3.3	Pluviométrie mensuelle (mm).....	38
Tableau 4.1	Résultats moyens du poids frais de racine sous différents niveau de NaCl.....	43
Tableau 4.2	Résultats moyens de la longueur de racine la plus longue sous différents niveau de NaCl.....	44
Tableau 4.3	Résultats moyens de la teneur en proline de racine sous différents niveau de NaCl.....	45
Tableau 4.4	Résultats moyens de la teneur en proline des cladodes sous différents niveau de NaCl.....	46
Tableau 4.5	Résultats moyens de la teneur en sucres solubles totales des racines sous différents niveau de NaCl.....	47
Tableau 4.6	Effet du stress salin sur la teneur en sucres solubles totales au niveau des cladodes.....	48
Tableau 4.7	Classification des différents paramètres analysés selon le test F.....	50
Tableau 4.8	Classification des différents écotypes du figuier de barbarie étudiés en groupes homogènes, selon le test Newman-Keuls, pour la teneur en sucres solubles totale au niveau des racines.....	50

LISTE D'ABREVIATIONS

C : concentration.

C° : degré Celsius.

C₀ : concentration à 0 g/l de NaCl (0mM).

C₁ : concentration à 11.7 g/l de NaCl (200mM).

C₂ : concentration à 23.4 g/l de NaCl (400mM).

C₃ : concentration à 35.1 g/l de NaCl (600mM).

CAM : Crasulcean Acide métabolique.

Ch_a : chlorophylle a.

Ch_b : chlorophylle b.

Ch_t : chlorophylle totale.

Cl⁻ : ion de chlore.

CO₂ : dioxyde de carbon.

DDL : Degré de liberté.

EOR : Espèces oxygénées radicalaires.

H⁺ : ion d'hydrogène.

H₂SO₄: Acide sulfurique.

K⁺ : ion de potassium.

MF : matière fraîche.

mm : millimètre.

mM : millimole.

Na⁺ : ion de sodium.

NaSO₄ : sulfate de sodium.

Ns : non significatif.

pH : potentiel hydrogène.

PPAS : plus petit amplitude significatif.

PP : probabilité.

S : signification.

µg/100Mg de MF: microgramme par 100 milligramme de matière fraîche.

***** : significatif.

****** : hautement significatif.

******* : très hautement significatif.

INTRODUCTION

Dans les régions arides et semi-arides, l'eau est le principal facteur limitant la production agricole. Cependant, l'irrigation mal gérée accroît les risques de destruction des sols et des eaux souterraines, car ces zones présentent un taux d'évaporation élevé pendant la saison sèche, ce qui conduit à une forte salinité secondaire du sol (**Badni, 2012**).

L'introduction de plantes tolérantes à la salinité est l'une des techniques utilisées pour la valorisation des sols marginaux. Face à ce problème, l'espèce *Opuntia ficus-indica* Mill (figuier de barbarie) est une plante originaire des zones arides et semi arides du Mexique (**Habibi, 2004**), appartient au genre *Opuntia*, est subdivisé en onze sous genres. Le sous genre le plus important en Algérie est le sous genre *Platyopuntia* (**Lallouche, 2008**), est une espèce végétale pérenne qui présente une capacité de s'adapter à diverses conditions climatiques. Elle participe à la stabilisation du sol et la lutte efficace contre l'avancée du désert.

L'Algérie qui a connu plusieurs années de sécheresse successives gagnerait à développer la culture de cette plante et à intensifier la vulgarisation de son usage en tant que source fourragère et pourquoi pas son industrialisation et commercialisation (**Khales et Baaziz, 2006**).

Cependant le choix d'écotypes adaptés à chaque situation et de type de culture serait à notre avis la première préoccupation. Il serait donc intéressant de sélectionner parmi les ressources génétiques des génotypes appropriés. De plus l'étude des effets de la salinité sur la croissance et le développement des plantes et la recherche des marqueurs physiologique et biochimique de stress sont d'une grande importance dans la sélection d'écotypes résistants.

L'objectif du présent travail est d'étudier l'effet de différentes concentrations de la salinité sur le poids frais des racines, sur la longueur de racine la plus longue, la teneur en proline au niveau des racines et au niveau des cladodes, la teneur en sucres solubles totales au niveau des racines et au niveau des cladodes et la teneur en chlorophylle (a), (b), (totale) chez les quatre écotypes (Oueled Darradj, Tolba, Mouchebbek et Maadar).

CHAPITRE I

GENERALITE SUR LE FIGUIER DE BARBARIE

1.1 Historique et origine

L'espèce de figuier de barbarie est originaire du Mexique. Il était inconnu en Europe avant les voyages de Christophe Colomb et fut décrit de façon précise pour la première fois en 1535 par l'Espagnol Gonçalo Hernández de Oviedo y Valdés dans son « Histoire des Indes Occidentales » (Nefzaoui et Bensalem, 2000).

A l'aube du seizième siècle, la plante s'est répandue dans le bassin méditerranéen suite aux expansions espagnoles et aussi par le retour des arabes à leur pays dans le Nord-africain suite à leur expulsion par Philippe III en 1610. Les expulsés appelés « morisqués » ont ramené avec eux des raquettes qu'ils ont plantées autour de leurs villages. (Bhira, 1956)

C'est grâce à l'homme que le Nopal doit d'avoir franchi les océans. Dans notre partie du monde, on trouve donc maintenant la plante à l'état subspontané de l'Afrique du Nord jusque dans la France méridionale et les vallées suisses du Tessin et du Valais (Benattia, 2017).

Les cactus sont presque tous originaires du Nouveau Monde, certaines espèces allant jusqu'au Nord de l'Alberta au Canada, d'autres poussant une pointe au Sud jusqu'en Patagonie. Les seules exceptions sont quelques espèces présentes en Afrique orientale et à Madagascar ou il se peut qu'elles aient été apportées par des oiseaux migrateurs et qu'elles y aient continué leur évolution (Mace, 2003).

1.2 Répartition dans le monde et en Algérie

1.1.1 Répartition mondiale

1.1.1.1 Au Brésil

Les plus grands secteurs du monde de l'*Opuntia* cultivé, sont situés dans le nord-est Semi-aride du Brésil, avec une prédominance de l'*Opuntia ficus indica*. Dans Le cadre

des projets de la FAO/CIRGP/PNUE sur les ressources génétiques pour L'amélioration de la vie rurale dans les zones arides et semi-arides, ce projet a débuté en 1979, des plantations de cactus inermes destinées au broutement couvrent plus de 300 000ha au nord-est du Brésil. Les densités de plantation sont de l'ordre de 5000 à 150 000pieds /ha (**Dos santos et al, 2001**).

1.2.1.2 En Asie

En Palestine occupée, la culture de l'*Opuntia* est pratiquée de façon intensive et moderne avec des programmes de recherche et de développement pour la production fruitière, fourragère et industriel (**Araba et al, 2000**)

1.2.1.3 En Europe

L'introduction de l'*Opuntia ficus-indica* en Europe date de la première moitié du XVIe siècle et fut l'œuvre, comme pour beaucoup d'autres espèces végétales et animales, des colons espagnols (**Prescott, 1843**).

1.2.1.4 En Espagne

PEDROA DE RIVERA, dans son voyage vers la nouvelle Espagne nordique au début du 18^{ème} siècle, a rapporté, que dans la direction de San Juan Del Rio, Querétaro, il a trouvé la végétation épaisse de l'*Opuntia*) (**Anaya-Pérez, 2001**)

1.2.1.5 En Italie

Il est cultivé sur une superficie de 1000 ha avec des programmes de fertilisation et d'irrigation annuelle (**Walali, 1998**)

1.2.1.6 En Ethiopie

Opuntia a été probablement introduit en Ethiopie il y a 150 ans par des missionnaires venus des régions méditerranéennes. Sa diffusion a été ensuite accélérée par les pèlerinages musulmans (**Clavel et al, 2008**).

1.2.1.7 Au Maroc

Sa répartition géographique est assez vaste puisqu'on la trouve aussi bien dans les régions côtières allant de Sidi Ifni jusqu'à Tanger, que dans plusieurs régions continentales. Les meilleures plantations se trouvent dans les zones côtières et plus précisément dans la bande côtière de plus de 10 km de largeur subissant l'influence maritime, la plante y bénéficie en fait du brouillard nocturne et matinal, très fréquent dans cette zone, tout au long de l'année (**Boujghagh, et Chajia, 2001**).

1.2.1.8 En Tunisie

En Tunisie, la culture de figuier de barbarie a connu un essor très important depuis l'année 2002. Elle a passé d'une superficie de 623 ha exploités par 736 agriculteurs seulement en 2002 jusqu'à 864,75 ha exploités par 818 agriculteurs à la fin de 2006. Les principaux gouvernorats producteurs de figuier de Barbarie sont en premier lieu Nabeul et en second lieu le gouvernorat de Sidi Bouzid. Les autres grandes plantations sont réparties dans la région du Cap Bon et dans le centre du pays (**Bhira ,1956**).

1.1.2 Répartition en Algérie

En Algérie, les plantations du figuier de barbarie sont réparties dans les hauts plateaux, à Batna, Biskra et Bordj-Bou-Argeridj, Constantine, sur les hauts plateaux Algérois à 550 mètres, et environs 750 mètres à M'sila, Laghouat et même à 1100 mètres Ain-Sefra.

Du centre à l'ouest l'*Opuntia* occupent une superficie dépassent les 25.000 hectares par exemple, on le trouve sur les hauteurs de Chréa, Bouarfa (wilaya de Blida), dans les wilayas de, Boumerdès, Tipaza, Tissemsilt, Chlef, Relizane, Mostaganem, Ain-Temouchent, Oran, Mascara, Sidi-bel Abbès, Tlemcen, dont la meilleure cueillette des figues de barbarie, est celle qui se réalise sur les hauteurs des montagnes, spécialement en milieu rocailleux, A l'exception des montagnes et des zones sahariennes.

La culture algérienne du cactus est largement représentée dans le paysage rural en plantation plus au moins régulières, autour des villages, en haies limitant les parcelles de

culture ou de vergers. La culture de cactus se trouve parfaitement intégrée dans le système d'exploitation traditionnel. (Piédallu, 1990, Arba et al, 2000).

L'Algérie déploie ces dernières années un effort important pour encourager la culture de la figue de Barbarie, pour son importance socioéconomique et écologique. (Temagoult, 2017).

1.3. Systématique

La famille des Cactacées renferme environ 1600 espèces avec le centre de la diversité maximale au Mexique qui abrite 669 espèces. (Guzman et al, 2006).

La tribu des Opuntieae comprend le genre *Opuntia*, subdivisé à son tour en quatre sous-genres : *Platyopuntia*, *Cylindropuntia*, *Tephrocactus* et *Brasilopuntia*. Le sous genre *Platyopuntia* comprend 150 à 300 espèces, parmi lesquelles figure *Opuntia ficus-indica*. (Dubeux, 2006)

Règne : Plantae

Sous règne : Tracheobionta

Embranchement : Phanérogames

Sous Embranchement : Magnoliophyta

Classe : Magnoliopsida

Sous classe : Caryophyllidae

Ordre : Opuntiales, Caryophyllales.

Famille : Cactaceae

Sous-famille : Opuntioideae

Tribu : Opuntieae

Genre : *Opuntia*

Sous-genre : *Platyopuntia*

Espèce : *Opuntia ficus indica* (L.) (Wallace, Gileson, 1997).

1.4 Description morphologique

1.4.1 Biologie du figuier de barbarie

C'est une plante robuste qui peut mesurer jusqu'à 5 mètres de hauteur, avec un tronc épais et ligneux. Ses articles aplatis en forme de raquettes (cladodes) de couleur vert mat, ayant une longueur de 30 à 50 cm et une largeur de 15 à 30 cm, sont couverts de petites aréoles, d'épines et de glochides blancs. Ses fleurs, marginales sur le sommet des cladodes, sont hermaphrodites, de couleur jaune et deviennent rougeâtres à l'approche de la sénescence de la plante. Ses fruits sont de baies charnues ovoïdes ou piriformes pourvues d'épines.

Ils sont généralement verdâtres ou jaunes à maturité. La pulpe est toujours juteuse, de couleur jaune orangé, rouge ou pourpre, parsemée de nombreuses petites graines **(Bhira, 1956)**.

1.4.2 Système racinaire

L'appareil racinaire est superficiel, se concentre dans les 30 premiers centimètres du sol **(Mulas et Mulas, 2004)**.

1.4.3 Raquettes

Les cladodes sont des tiges modifiées de forme aplatie, de 30 à 40 cm de long, qui remplacent les feuilles dans leur fonction photosynthétique et dont la surface est parsemée d'alvéoles **(Boudjellaba et Yassa, 2012)**.

Les cladodes assurent la fonction chlorophyllienne et sont recouvertes d'une cuticule cireuse (la cutine) qui limite la transpiration et les protège contre les prédateurs. **(Neffar, 2012)**.

1.4.4 Fleurs

Les fleurs sessiles émergeant de leur réceptacle aux sépales verts possèdent de nombreux pétales épais, revêtus d'un léger duvet. Elles sont hermaphrodites. Leurs étamines brèves sont généralement dominées par les filaments des stigmates. (**Schweizer, 1997**).

Les bourgeons floraux peuvent se développer sur la surface la plus éclairée de la cladode (**Sudzuki, 1995**), ils sont situés sur les raquettes de 6 à 7cm de diamètre. (**A.M.E, 2003**). Les fleurs des cactus sont tout à fait variables, mais il y a quelques dispositifs généraux qui sont partagés par la famille entière. L'ovaire de la fleur (la pièce d'ovule roulement du pistil) est complètement inclus dans la tige. (**Rebmenm et Pinkava, 2001**).

1.4.5 Fruits

Le fruit est une baie de forme variable, sphérique, ovoïde, pyriforme, juteuse jusqu'à maturité, la couleur de la pulpe peut être verdâtre, jaune orange et même rouge, (**Khouri, 1970**) La taille des fruits est très variable, leur poids varie de 30 à 60 g (gramme) et peut atteindre 250 g (**Inglese et al, 1994**).

La forme du fruit varie selon la variété et l'époque de formation: les premiers sont arrondis et les tardifs sont allongés. (**Neffar, 2012**).

1.5 Conduites et techniques culturales

1.5.1 Choix de l'espèce et de cultivar

Le choix de la variété prend une certaine importance au cas où l'implantation serait destinée à la production de fruits pour la consommation directe. Dans cette circonstance, il est de la plus grande importance de connaître l'évolution du marché et d'évaluer le type de fruit préféré par les consommateurs qui sera donc plus facile à commercialiser (**Mulas, Mulas, 2004**).

Mais si le but de l'implantation est l'utilisation fourragère, la production des fruits et le choix de la variété passent au second plan. En général, il est toutefois opportun de

choisir les variétés inermes, de manière à éviter l'opération d'élimination des épines avant la consommation de la part du bétail. **(Mulas, Mulas, 2004).**

1.5.2 Préparation du sol

C'est une opération qui se limite généralement à confectionner des trous de plantation de 10 à 20 cm de profondeur et de 50 cm de diamètre, tout en procédant par un épierreage si le sol est très caillouteux et ceci pour ne pas entraver le développement des racines **(Derd, 2000).**

1.5.3 Epoque de plantation

La période de plantation du cactus varie avec la latitude et les conditions environnementales. Deux époques sont considérées:

- L'automne : de septembre à novembre pour les régions à hivers doux et de septembre à octobre dans les régions à hivers frais.
- Le printemps : pendant les mois de février, mars et avril dans les zones à hivers doux et pendant le mois d'avril et mai dans les régions à hivers frais. **(Bhira, 1956).**

1.5.4 Densité et méthodes de plantation

Les modes de plantation sont en quiconque dans la plaine et en lignes dans la montagne. Les espacements varient de 0,5x2 m à 4x4 m. La forte densité (1600 à 2000 plants/ha) n'est recommandée que pour les zones qui sont relativement bien arrosées. L'orientation N-S est importante pour bien assurer l'ensoleillement des plants **(Halmi, 2015).**

En Algérie, la densité dans les zones arides et semi-arides varie de 1000 à 4000 raquettes par ha et arrive jusqu'à 5500 raquettes par ha. **(H.C.D.S, 1998).**

1.5.5 Entretien de la culture

Les pratiques culturales chez l'*Opuntia* sont donc limitées à des apports complémentaires en irrigation, à des rares traitements phytosanitaires et à des techniques d'entretien classiques (travaux superficiels du sol, taille...) (**Araba et al, 2000**)

Des travaux superficiels du sol, d'autre part des apports de fumier, d'engrais et d'eau en cas de sécheresse prononcée, augmentent la vigueur ainsi que le rendement en matière verte (**Araba et al, 2000**).

1.5.5.1 Fertilisation

Les recherches menées en Italie ont montré que l'application de l'azote à 120 kg/ha améliore la floraison et permet une production hors saison (**Araba et al, 2000**).

En Italie, des apports de 50kg d'azote, 80kg de potassium et 100kg de phosphore par hectare sont effectués, de novembre à février, suivis de deux apports d'azote (60kg/ha) au moment du développement des fruits.

1.5.5.2 Irrigation

Dans les régions aux étés secs et chauds, la culture de cactus est conduite de manière intensive sous irrigation et fertilisation pour la production de fruits, surtout en Italie et au Chili (**Inglese, 1995**).

1.6 Ecophysiologie de la plante

L'*Opuntia* est une plante succulente, qui a la capacité à emmagasiner l'eau dans leurs racines ou tiges et feuilles de manière à limiter la transpiration, cette faculté lui rend bien adapté à la sécheresse. L'unique différence entre le cactus et les autres plantes succulentes, est due à la présence des aréoles. (**Nobel, 1995**)

De point de vue physiologique, les stomates sont fermés pendant le jour, et ne s'ouvrent que durant la nuit permettant l'accumulation du CO₂ nécessaire au processus

photosynthétiques, évitant donc, les échanges pendant la période chaude du jour (**Araba, 2009**). Elle présente des adaptations morphologiques et physiologiques lui permettant de résister à la sécheresse, aux chaleurs torrides, aux vents violents et aux tempêtes de sable (**Sudzuki, 1995 ; Mulas, 2004**).

Il existe trois mécanismes principaux qui permettent aux *Cactaceae* de tolérer la sécheresse (**Sudzuki, 1995**).

- en réduisant la surface des racines et la perméabilité à l'eau;
- en absorbant rapidement la faible quantité d'eau tombée lors de pluies éphémères, grâce à la capacité de produire en très peu de temps des racines qui disparaissent une fois que le sol s'assèche;
- en négativisant davantage le potentiel hydrique. Dans ce cas, on peut parler de mécanismes de *drought-resistance*. (**Mulas, Mulas, 2004**).

1.7 Maladies et parasites des *Opuntias*

De nombreux parasites et maladies sont rencontrés dans le cactus (**Helmuth; Granata, 1997**).

1.7.1 Maladies cryptogamiques

1.7.1.1 Rouille (*Phyllostica opuntia*)

Urédinée qui se manifeste par de petites taches de couleur jaune rouille, circulaire, pouvant s'étendre en plaque irrégulière d'un blanc sale ou cendré. La rouille est présente dans les zones humides, il faut traiter au cuivre et supprimer les raquettes parasitées (**Walali, 1995**).

1.7.1.2 Mildiou des cactus (*Phytophthora cactorum* et *P. omnivera*)

Les symptômes de la maladie se présentent sous forme de cloque soulevant l'épiderme, d'état chlorotique prononcé et de taches brunâtres qui envahissent les fruits et

les raquettes (**Walali, 1995**) Une lutte préventive consiste à couper et à incinérer les parties atteintes de la plante (**Poupon, 1975**)

1.7.1.3 Dessèchement des *Opuntias*

Causé par un champignon, *Hendersonia Opuntia*, cette maladie est généralement propre aux oponces. Elle se caractérise par des lésions au centre brun gris et craquelé, d'abord bien délimitées, elles en arrivent à couvrir des articles entiers qui tournent au brun rouge avant que la plante ne meurt (**Granata, 1995**).

1.7.2 Parasites et prédateurs

1.7.2.1 Cochenilles et poux des racines

Bien que généralement polyphages, certaines espèces de cochenilles sont des parasites spécifiques et inféodées à une seule espèce de cactées. *Cactoblastiscacterum* a éliminé la culture de l'*Opuntia dillenii* au sud de Madagascar. Les poux des racines parents de la cochenille. *Rhizoecusfalcifer* s'établit sur les racines et sur le collet des cactus qu'ils piquent et dont ils sucent la sève (**Walali, 1998**) La lutte contre les cochenilles nécessite des traitements aux huiles blanches ou au parathion (**Poupon, 1975**).

1.7.2.2 La cératite (*Ceratitiscapitata*Wied) :

C'est la mouche méditerranéenne des fruits, qui peut occasionner des dégâts importants certaines années dans les plantations mal entretenues. Un insecticide de synthèse peut débarrasser facilement cet insecte (**Poupon, 1975**).

1.7.2.3 Les nématodes

Endommagent gravement les racines des plantes. A Hawaii et en Afrique du sud, trois insectes ont été utilisés avec succès pour la lutte biologique : le papillon *Cactoblastiscactorum* (pyralidae), la cochenille *Dactylopiusopuntiae* (dactylopiidae) et le charançon *Metamasiuspinolae* (curcullonidae). (**A.M.E, 2003**).

1.8 Intérêt de figuier de barbarie

Toutes les composantes du cactus (fleurs, raquettes, fruits) présentent de multiples intérêts (**Boudjellaba, Yassa, 2012**).

1.8.1 Importance écologique

D'un point de vue pédologique, ce végétal permet l'évolution positive des sols par la biotransformation des racines et des raquettes en substances organiques et donc une plus grande disponibilité en éléments nutritifs (**Houerou, 1996 ; Mandouri, 2000**).

Il sert aussi d'abri de protection, de clôture défensive des exploitations et d'obstacles à la propagation des incendies (**Houerou, 1996 ; Orwa et al, 2009**).

Le figuier de barbarie est utilisé pour lutter contre l'érosion hydrique et éolienne, il résiste au feu et peut être utilisé comme obstacle à la propagation des incendies (**Araba et al, 2000**).

Au Maghreb, les vieilles raquettes d'*Opuntia* desséchées utilisées comme fumure des vergers et la dispersion d'articulation d'*Opuntia* broyés autour du pied de certaines plantes, éloigne les parasites et empêche la prolifération des mauvaises herbes (**Beloued, 2001**).

1.8.2 Importance agro- économique

1.8.2.1 Graines

Les substances naturelles issues de cette graine ont des intérêts multiples. En effet, la graine est une partie riche en matière grasse, elle peut être exploitée pour l'extraction des huiles à usage alimentaire, pharmaceutique, médical et cosmétique (**Fadili, 2000**).

1.8.2.2 Fruits

Il est consommé à l'état frais, bouilli dans l'eau ou séché (**Pimienta, 1993**). La pulpe et le jus sont les utilisations les plus communes et domestiques du figuier de

barbarie. Plusieurs études ont été faites sur le jus et ont montré que ce produit a un goût et un parfum agréables. Une autre possibilité est la production des jus concentrés qui manifestent une bonne stabilité microbiologique (**Bahira, 1956**).

Tableau 1.1: Composition de la figue de barbarie « *Opuntia ficus-indica* »

Constituants	Fruit (%)	pulpe et graine (%)	pulpe sans graine (%)
Eau	80.0	84.5	83.6
Protéines	1.0	1.3	0.8
lipides totaux	0.7	1.3	0.3
glucides disponibles	14.8	8.0	10.8
fibres brutes	2.3	4.4	3.6

(**Boullard, 1988**).

1.8.2.3 Fleurs

Les fleurs du cactus constituent une source nutritive très appréciée par les abeilles, d'où la possibilité de développer l'apiculture en parallèle (**Araba et al, 2000**)

Les fleurs de l'*Opuntia* sont comestibles. Les mexicains les mangent à la manière d'asperge (**Huisman et al, 1999**).

1.8.2.4 Raquettes

1.8.2.4.1 Production maraichère

Les jeunes pousses d'*Opuntia*, appelées "Nopalitos" sont consommées aussi comme légume au Mexique et dans le sud des Etats Unis. Elles sont riches en vitamine C et en Calcium et leur valeur nutritive est proche de celle de la laitue et des épinards (**Mohamed et al, 1996, Sanez, 2002**).

1.8.2.4.2 Source de mucilage

L'analyse texturale a prouvé que le mucilage du figuier de barbarie pourrait avoir un effet protecteur sur les fraises, reflétées par la grande fermeté des échantillons enduits pendant le stockage, qui pourrait réduire des pertes économiques dues à la détérioration produite à partir des dommages mécaniques pendant la manipulation et le transport (**Del Vall et al, 2005**).

1.8.2.4.3 Colorant

En Afrique du sud et au Mexique, l'élevage des cochenilles sur l'*Opuntia* sous tunnels est utilisé pour la production d'une teinte rouge, le carmin, produit par les femelles qui prolifèrent sur des raquettes saines, en prélevant des substances nutritives du phloème. Cette teinte est très demandée en industrie alimentaire, médicinale et cosmétique comme colorant nature (**Lambdin et al, 2002**).

1.8.3 Importances médicinales

1.8.3.1 Diététique

Le Nopal semble agir efficacement à la fois sur les graisses et sur les sucres. La racine d'*Opuntia ficus-indica* est également considérée comme un excellent diurétique (**Schweizer, 1997**).

1.8.3.2 Antidiabétique

Des études scientifiques démontrent qu'absorbé avant le repas, le Nopal est un antidiabétique efficace dans des cas d'hyperlipidémie (**Schweizer, 1997**).

1.8.3.3 Cellulite

Les protéines végétales dont le Nopal est abondamment pourvu aident le corps à éliminer l'excès aqueux de certains tissus cellulaires, diminuant ainsi la rétention d'eau, dont la cellulite représente l'une des conséquences les plus fâcheuses (**Schweizer, 1997**).

1.8.3.4 Hyperglycémie (excès de sucre dans le sang)

Le Nopal, par sa forte teneur en fibres régularise et freine l'assimilation des molécules de sucre tant au niveau de l'estomac que de l'intestin ce qui induit une diminution du taux de sucre dans le sang. Selon le Dr J.Robert, certaines enzymes faisant partie de sa structure chimique agiraient comme une insuline naturelle, combattent souvent avec succès les dangereux effets secondaires d'un excès de sucre dans le sang: la détérioration de la vision, des vaisseaux sanguins et des tissus nerveux (**Schweizer, 1997**).

1.8.3.5 Hyperlipidémie (taux élevé de cholestérol)

De par sa teneur élevée en fibres et en gommes, le Nopal est réputé pour son action bénéfique d'interception des graisses dans l'estomac et dans l'intestin, abaissant ainsi les niveaux de Cholestérol et de lipides dans le sang à leurs proportions normales (**Schweizer, 1997**).

1.8.3.6 Artériosclérose (durcissement des artères)

Les acides aminés et les fibres, en particulier le principe antioxydant des vitamines A et C que contient Nopal ont pour effet de diminuer le risque de détérioration des parois artérielles et la formation de plaquettes graisseuses, des chercheurs indépendants spécialisés Enethnomédecine ont remarqué que des populations de la tiers-monde habituées à consommer des figes de barbarie semblaient préservées de l'artériosclérose et l'artérite (**Schweizer, 1997**).

1.8.3.7 Digestion, fonction hépatique

Les fibres du Nopal, comme la plupart des fibres végétales de qualité, régularisent le transit intestinal. Elles préviennent l'organisme de la constipation. Les vitamines A, B1, B2, B3 et C, présents naturellement dans le Nopal, ses sels minéraux (calcium, magnésium,etc) et ses fibres (**Schweizer, 1997**).

1.8.3.8 Ulcères gastriques et désordres gastro-intestinaux

L'association des fibres végétales du Nopal et de l'effet protecteur de son mucilage parvient à brider la production excessive d'acidité et préserve la muqueuse gastro-intestinale. Cet effet tampon tempère la naissance des colites, ces douloureuses inflammations du colon éprouvées par les intestins fragiles, le Nopal agit comme un amortisseur du pH de l'estomac et de l'intestin. (Schweizer, 1997).

1.8.3.9 Activité diurétique

Depuis des décennies, la médecine traditionnelle utilise les fleurs du figuier de barbarie en infusion afin de soulager les « douleurs rénales ». Plusieurs chercheurs se sont intéressés à cet effet et plusieurs études ont été établies. Une étude Italienne, réalisée sur le figuier de barbarie de la région Sicilienne, porte sur les effets diurétiques des infusions (Schweizer, 1997). Des cladodes, des fruits et des fleurs de l'*Opuntia ficus-indica* chez le rat.

1.8.3.10 Nettoyage du colon

Nous l'avons déjà souligné le Nopal contient des fibres alimentaires "solubles" facilitant le transit intestinal, mais il contient également des fibres "non-solubles" c'est-à-dire "inassimilables", qui absorbent l'eau des déchets, accélérant en douceur le transit tout en régulant ses mouvements (Schweizer, 1997).

1.8.3.11 Anxiolytique

Le Nopal est un tranquillisant naturel, apportant calme et sérénité à un organisme stressé. Des chercheurs ont suggéré que ce serait à la berbérine et à un autre alcaloïde encore indéterminé dont on a découvert des traces dans la plante que l'on devrait cette action bienfaisante (Schweizer, 1997).

1.8.3.12 Femmes enceintes

Chez les Aztèques, les femmes enceintes consommaient le Nopal sous toutes ses formes car il était considéré comme le meilleur des fortifiants et un excellent galactogène, durant le temps de leur grossesse et lorsqu'elles allaitent leur enfant, il est une tradition bien établie chez les femmes de certaines tribus indiennes de boire du jus de figue ou, lorsque la saison de fructification est passée, une décoction de fleurs séchées ou de racines d'*Opuntia ficus indica* (Schweizer, 1997).

1.8.4 Cosmétiques

Les femmes berbères utilisaient l'huile pour cicatriser et pour protéger leur peau du vent brûlant du désert (Benattia, 2017). Le mucilage des cladodes est utilisé dans la fabrication des shampoings, des assouplissants des cheveux, des crèmes dermiques et des laits hydratants. Il est également utilisé depuis longtemps par les femmes rurales au Maroc pour assouplir leurs cheveux. (Fernandez et al, 1990).

1.8.5 Production fourragères

Les raquettes sont en effet très riches en eau, au point qu'en certaines périodes de l'année, elles contribuent à satisfaire les besoins en eau des animaux (Crosta et Vecchio, 1979).

CHAPITRE II

LE STRESS SALIN

2.1. Généralité sur la salinité

2.1.1 Définition

La salinisation est un processus d'enrichissement d'un sol en sels solubles qui aboutit à la formation d'un sol salin. La salinisation peut aussi être définie comme un processus d'accumulation des sels solubles. D'après (**Mermoud, 2006**), la salinisation des sols est le processus d'accumulation de sels à la surface du sol et dans la zone racinaire, qui occasionne des effets nocifs sur les végétaux et le sol; il s'ensuit une diminution des rendements et, à terme, une stérilisation du sol.

La salinisation des sols est non seulement liée aux conditions climatiques (fort ensoleillement et faible pluviométrie) mais également au recours souvent mal contrôlé à l'irrigation, ce qui entraîne une accumulation des sels dissous en surface (**Bennaceur et al, 2001 in Bouchoukh, 2010**).

Les sols salins couvrent 397 millions d'Hectare (**F.A.O., 2005**). En Afrique, près de 4Mha sont affectés par la salinisation, soit près de 2% de la surface totale. En Algérie, plus de 20% des sols irrigués sont concernés par des problèmes de salinité (**Hartani et al, 2008**).

2.1.2 Principaux sels solubles

Les principaux sels solubles qui participent dans la formation des sols salés sont :

Les carbonates : les plus rencontrés sont le carbonate de sodium (Na_2CO_3), bicarbonate de sodium (Na HCO_3), carbonate de calcium (CaCO_3) et le carbonate de magnésium (MgCO_3).

Les sulfates : ce sont les sels de l'acide sulfurique et les plus fréquents sont: le sulfate de magnésium (MgSO_4), sulfate de sodium (Na_2SO_4) et le sulfate de calcium (Ca SO_4).

Les chlorures : principalement : le chlorure de sodium (NaCl), le chlorure de calcium (Ca Cl₂) et chlorure de magnésium (MgCl₂) ce sont plus soluble et forte toxicité. La présence de sels solubles en quantité importante ou d'un horizon sodique à structure dégradée, caractères qui ont une influence néfaste sur le développement de la végétation ou des cultures (**Aubert, 1982**).

2.1.3 Les Types de la salinité des sols

2.1.3.1 La salinité primaire (ou Naturelle)

La salinité primaire s'explique par l'accumulation de sels dans le sol ou d'eaux souterraines sur une longue période de temps en deux processus naturels :

- L'altération des matériaux de base contenant des sels solubles : Les processus d'altération des roches se décomposent et la libération des sels solubles de divers types, principalement des chlorures de sodium, de calcium et de magnésium, et dans une moindre mesure, les sulfates et les carbonates. Le chlorure de sodium est le sel le plus soluble.
- Le dépôt de sels océaniques effectués dans le vent et la pluie : «les Sels cycliques" sont des sels de l'océan amenés par le vent et déposés par la pluie, et sont principalement le chlorure de sodium.

L'eau de pluie contient de 6 à 50 mg / kg de sel, la concentration de sels diminue avec la distance de la côte. Si la concentration est de 10 mg / kg, il s'ajoute 10 kg / ha de sel pour chaque 100 mm de précipitations par an. L'accumulation de chlorure de sodium dans le sol serait considérable au cours des millénaires. La quantité de sel stocké dans le sol varie en fonction du type de sol, étant faible pour les sols sableux et élevée pour les sols contiennent un pourcentage élevé de minéraux argileux. Il varie aussi inversement avec une pluviométrie annuelle moyenne. (**Hamza, 2011**).

2.1.3.2 La salinité secondaire (ou d'origine humaine)

La salinisation secondaire est le résultat des activités humaines qui modifient l'équilibre hydrologique du sol entre l'eau appliquée (irrigation ou de pluie) et de l'eau utilisée par les cultures (transpiration).

Les causes les plus fréquentes sont :

-Le défrichement des terres et le remplacement de la végétation pérenne avec des cultures annuelles,

-L'utilisation des eaux d'irrigation riches en sel.

-Un drainage insuffisant et un système d'irrigation déséquilibré.

L'excès d'eau soulève la nappe souterraine et mobilise des sels précédemment stockés dans le sous-sol et les amène jusqu'à la zone des racines. Les plantes utilisent l'eau et laissent le sel jusqu'à ce que l'eau du sol devienne trop salée pour l'absorption d'eau par les racines des autres. L'eau s'évapore en laissant des dépôts de sels à la surface et formant ainsi «brûlure du sel » dans des cas. Le sel peut également se mobiliser latéralement vers les cours d'eau pour augmenter leur degré de salinité (**Hamza, 2011**).

2.2 Salinité et la plante

2.2.1 Les composantes de la contrainte saline

Les composantes de la salinité sont : les stress osmotique, ionique, nutritionnel et oxydatif.

2.2.1.1 Le stress osmotique

La première conséquence de la salinisation tient à la modification du potentiel osmotique de la solution du sol, lorsque la teneur en sels croît .Selon **Song et al, (2005)**, plus la solution du sol est salée, plus la pression osmotique est élevée et plus il est difficile pour les racines d'extraire l'eau de la réserve du sol. Il en résulte ainsi un ralentissement de leur croissance.

D'après **Chinnusamy et al, (2004)**, la concentration en sels dépend de la teneur en eau du sol et augmente avec le dessèchement ; c'est pourquoi l'excès de sels qui affecte les plantes est atteint beaucoup plus rapidement dans un sol sableux que dans un sol argileux qui piège les ions Na⁺ via les charges négatives de l'argile.

2.2.1.2 Stress ionique

Lié à la composition en éléments du sol (carences ou toxicité en certains ions) : un déficit en N, P, MO, Cu, Zn, Fe, B,... peut avoir des conséquences importantes sur le développement des plantes. Un excès de minéraux AL, Na, Cl,... peut avoir des effets toxiques (**Monneveux et This, 1997**).

Selon **Chinnusamy et al, (2004)** l'accumulation des ions toxiques Na⁺ et Cl⁻ au niveau du mésophylle des feuilles, affecte la croissance et le métabolisme de la plante où le sel endommage les structures lipidiques et protéiques des membranes plasmiques. Ainsi la présence de ces ions perturbent l'activité enzymatique cellulaire principalement dans les tissus photosynthétiques (**Hasegawa et al, 2000**).

Chinnusamy et al, (2004) voient que la toxicité ionique peut être le résultat du remplacement de K⁺ par Na⁺ au niveau des sites actifs de protéines induisant aussi un changement des structure protéiques et enzymatiques.

2.2.1.3 Stress nutritionnel

Selon **Snoussi et Halitim (1998)**, certains sels peuvent affecter la balance nutritionnelle chez les plantes s'ils sont présents en concentration excessive ou en proportion anormale.

La présence excessive d'ions sodique, chlorique et borique peut provoquer une augmentation du pH du sol, ce qui a un effet indirect sur l'impossibilité d'absorption des ions ferreux, phosphate, zinc et manganèse indispensable pour la croissance des plantes (**Maillard, 2001**).

Selon **Tester et Davenport (2003)**, in **Jabnourne (2008)**, les effets osmotiques du stress salin peuvent également limiter la croissance des racines, ce qui limite les possibilités d'absorption des éléments nutritifs du sol.

2.2.1.4 Stress oxydatif

Les espèces réactives d'oxygènes (ROS) sont habituellement générés par l'activité cellulaire normale avec des faibles concentrations, comme la photo respiration et la B-oxydation des acides gras, et dans ces conditions, la plante possède des enzymes et des métabolites antioxydants suffisants pour faire face à cette faible concentration (**Yazici *et al.*, 2007**).

De nombreux travaux montrent que des métabolites enzymatiques et non enzymatiques antioxydants telles que les superoxyde-dismutases (SOD), les ascorbate peroxydases (APX), les catalases (CAT), des glutathion-S-transférases (GST) et les glutathion peroxydases (GPX) s'accumulent plus pendant le stress salin (**Sudhakar *et al.*, 2001**).

Une conséquence des stress environnementaux, comprenant le stress salin, est l'apparition du stress oxydatif (**Hernandez *et al.*, 2001**), c'est-à-dire l'accumulation d'espèces réactives d'oxygène (ROS) à des concentrations élevées (**Azevedo *et al.*, 2006**), qui endommagent les structures cellulaires (**Smirnoff, 1993 ; Parent *et al.*, 2008**). Ces derniers sont à l'origine du dysfonctionnement de l'appareil photosynthétique et les autres troubles métaboliques (**Rahnama et Ebrahimzadeh, 2005**). La plupart d'entre eux sont des peroxydes d'hydrogène, des radicaux hydroxyles et des anions superoxyde (**Azevedo *et al.*, 2006**).

La tolérance des plantes à la contrainte saline est fortement corrélé à leur capacité de synthèse des antioxydants nécessaire pour faire face au ROS et de maintien leur concentration à faible niveau dans les cellules lors du stress (**Reddy *et al.*, 2004**).

2.2.2 Effet de la salinité sur les plantes

2.2.2.1 Effet du stress salin sur la germination et la levée

La germination est régulée par des caractéristiques génotypiques mais aussi par les conditions environnementales et, en particulier, par la disponibilité de l'eau dans le sol (**Sharma, 1973, Gutterman, 1993 in Ndour et Danthu, 2000**). Selon **Maillard (2001)** ;

Abdelly (2006), la plupart des plantes sont plus sensibles à la salinité durant leurs phases de germination et de levée dont l'effet nocif est de nature osmotique ou bien toxique.

Selon **Karmous (2007)**, elle agit également sur la germination en ralentissant sa vitesse, ce qui expose plus les semences aux risques. il a été démontré que la salinité inhibe la germination par son effet osmotique où elle affecte tous les processus de germination suite à la baisse du potentiel hydrique autour des graines, ce qui rend l'eau inaccessible à cette dernière pour la réhydratation et la reprise de la vie active de l'embryon (**Maas et Poss, 1989**).

2.2.2.2 Effets du stress salin sur la photosynthèse

La teneur en sel élevée dans les tissus influence directement les enzymes photosynthétiques et par voie de conséquence les réactions d'échange de lumière et de gaz (**El hendawy, 2004**) Or, la réduction de la photosynthèse à long terme entraîne l'inhibition de la formation et de l'expansion de la feuille ainsi que l'abscission précoce de cette dernière (**Kozlowski et Pallardy, 1997 b in Kozlowski, 1997**).

2.2.2.3 Effet du stress salin sur la morphologie des plantes

La comparaison des plantes vivantes dans un milieu non salé et celles des milieux salés, montre que les fortes concentrations de sels solubles dans l'environnement racinaire provoquent la formation de plantes naines ainsi qu'une germination lente chez certaines espèces (**El mekkaoui, 1987**).

2.2.2.4 Effet du stress salin sur le métabolisme

Les sols salins peuvent imposer des effets spécifiques ioniques sur les plantes parce que les fortes concentrations d'ions (Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-}) accumulés dans les cellules, agissent en désactivant des enzymes, en inhibant la synthèse des protéines ou en favorisant le dépliage menant à la dénaturation des protéines et en affectant la photosynthèse (**Räsänen, 2002**).

2.3 Mécanisme d'adaptation des plantes à la salinité

2.3.1 Les mécanismes d'adaptation morphologiques

Selon **Hamza (1982)**, les plantes manifestent des adaptations diverses en présence d'un excès de sel, un allongement faible des organes, un raccourcissement des entrenœuds et une réduction de la surface foliaire. Les différentes parties de la plante ne réagissent pas de la même façon en milieu salin. Les racines commencent à diminuer (**Levigneron et al, 1995, Lallouche et al, 2017**).

2.3.2 Les mécanismes d'adaptation physiologique

2.3.2.1 Accumulation de la proline

Les plantes exposées à de hautes concentrations de sel accumulent un soluté organique qui est la proline afin d'ajuster le potentiel osmotique dans le cytoplasme (**Sannada et al, 1995; Belkhodja et Benkabilia, 2000 ; Lallouche et al, 2017**).

L'aptitude des plantes à la synthèse et à l'accumulation de la proline n'est pas spécifique aux halophytes (**Higazy et al, 1995**), elle l'est aussi pour de nombreuses glycophytes, chez le pois (**Barnun et al, 1979**), l'orge *Hordeum vulgare L.* (**Buhl et al, 1983**), la fève (**Belkhodja, 1996**), le tabac et le blé (**Ould Babana, 1999**), l'*Opuntia* (**Lallouche et al, 2017**).

L'accumulation de la proline est considérée actuellement comme l'une des manifestations les plus remarquables des stress salin et hydrique. La teneur en proline vient renforcer les mécanismes impliqués dans le maintien et l'amélioration de la stabilité des membranes cellulaires en réponse au stress salin (**Alem et Amri, 2005**).

Le rôle osmoprotecteur de la proline a été signalé par de nombreux auteurs. La proline a un rôle osmorégulateur dont le pouvoir protège le système membranaire lors de la déshydratation des différents tissus (**Bellinger et al. 1991**).

L'utilisation de la proline comme critère de discrimination variétale pour la tolérance à divers stress dont la salinité est largement citée, mais la sélection par rapport à ce critère dépend des différences de tolérance entre les variétés étudiées (**Quarrie, 1980 ; Lallouche et al, 2017**).

2.3.2.2 Sucres solubles

L'accumulation des sucres solubles est très prononcée chez les plantes soumises à la contrainte saline, ces sucres ont pour rôle l'établissement de l'équilibre osmotique (**Balibrea et al, 2000 ; Munns, 2002**).

Des études ont été menées par **Akitas et Cabuslay (1990)** sur plusieurs espèces végétales telle que le haricot (très sensible) le riz (sensible), le soja (moyennement résistant et le cotonnier (tolérant) en but d'évaluer les teneurs en saccharose et en amidon des feuilles et des racines, en condition de salinité.

2.3.2.3 Glycine bétaine

La glycine bétaine, un composé quaternaire d'ammonium est un osmolyte stabilisant aidant à préserver des macromolécules de la déshydratation d'où son nom d'osmoprotectant (**Hare et al, 1998**).

2.3.2.4 Dilution et accumulation des sels

La dilution des sels absorbés est souvent très liée chez les plantes résistantes à une forte rétention d'eau par les plantes et au développement de la succulence qui est elle-même liée à la présence de NaCl dans le milieu (**Levit, 1972**).

2.3.2.5 Le contrôle membranaire

L'adaptation au stress salin se met en place également au niveau des membranes cellulaires (membrane plasmique, tonoplaste). La modification qualitative et quantitative des aquaporines (protéines trans-membranaires) est par exemple un processus capable de modifier la conductivité hydrique de la plante et de favoriser de restreindre les

mouvements d'eau (**Yeo, 1998**). En termes de transport ionique, la stratégie de résistance à la salinité est qualitative et quantitative. La sélectivité des ions à l'entrée constitue la composante qualitative qui se définit à partir des différents transporteurs membranaires récents (antiports Na^+/H^+).

CHAPITRE III

MATÉRIELS ET MÉTHODES

3.1 Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé dans ce travail est constitué des boutures « jeunes raquettes » de quatre écotypes de figuier de barbarie « Tolba, Oueled Darradj, Maader et Mouchebbek » (**Tableau 3.1 ; Figure 3.1**). Les coordonnées précises des écotypes sont enregistrées à l'aide d'un appareil GPS; il s'agit de la latitude, la longitude et l'altitude (Tableau 3.1).

Tableau 3.1: Liste des quatre écotypes étudiés avec leurs caractéristiques agro-écologiques.

	Tolba	Ouled darradj	Maader	Mouchebbek
Latitude	35° 40' 53'' Nord	35°40'36'' Nord	35° 17,6' 69'' Nord	35° 9' 46.4'' Nord
Longitude	4° 52' '31'' Est	4° 49'23'' Est	4° 13' 2.02'' Est	4° 10' 59'' Est
Altitude	603m	586m	482 m	670 mètres



Écotype Tolba



Écotype Oueled Derradj



Écotype Maader



Écotype Mouchebbek

Figure 3.1 : Sites de prélèvements du matériel végétal

3.2 Lieu de l'expérimentation

Notre expérimentation s'est déroulée au niveau de la station expérimentale de département des sciences agronomique de l'université de M'sila.

3.3 Données climatique

Le climat est l'ensemble des actions de l'atmosphère, l'humidité, la pluie, la température, le vent, etc. C'est l'élément naturel sur lequel l'homme n'a aucune influence directe à l'exception de cas particuliers tels que les irrigations par exemple. C'est un facteur déterminant pour le développement des plantes, de la formation et de l'évolution des sols (Greco, 1966).

3.3.1 Température

La température, est un facteur constitutif du climat, influe sur le développement de la végétation. Ce sont les températures extrêmes plus que les moyennes qui ont une influence sur la végétation, sauf si elles sont exceptionnelles et de courte durée (Greco, 1966). Seules les valeurs ayant une signification biologique sont prises en considération : Températures moyennes mensuelles, moyennes des maxima du mois le plus chaud (M), moyennes des minima du mois le plus froid (m).

L'analyse des valeurs de la température de l'année 2017, montre que les températures maxima sont enregistrées durant le mois le plus chaud (Juillet) avec une valeur de : 40.4 °C (Tableau 3.1).

Tableau 3.2 : Température mensuelle moyenne, minimale et maximale (°C).

Moi	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
T° Max	12.3	17.8	22.4	25.8	32.9	37.1	40.4	39.9	32.6	26.5	19.0	14.1
T° Min	2.8	6.3	7.7	11.6	18.1	22.0	24.6	25.7	18.5	12.5	6.2	3.4
T° Moy	7.55	12.05	15.05	18.7	25.5	29.55	32.5	32.8	25.55	19.5	12.6	8.75

(O.N.M. M'sila 2017)

3.3.2 Précipitation

La pluviométrie constitue la principale forme des précipitations et la plus importante. C'est le premier facteur du climat influençant la croissance des végétaux. Ainsi la quantité d'eau reçue annuellement est un élément essentiel pour la vie végétale (Djellouli, 1981).

Le cumul annuel moyen de la précipitation de l'année 2017 est 142.2 mm (Tableau 2.1).

Tableau 3.3 : Pluviométrie mensuelle (mm).

Moi	Jan	Fe v	Ma r	Av r	Mai	Juin	Jui l	Aou t	Se p	Oct	No v	De c	Cumu l
P(mm)	71. 4	1.0	2.5	5.6	13. 2	18. 0	4.3	0.5	1.5	12. 7	4.1	7.4	142.2

(O.N.M. M'sila 2017)

3.4 Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est randomisation totale est constitué par la combinaison de deux **facteurs** : (facteur solinité à 4 niveaux et facteur écotype à 4 niveaux). L'ensemble est composé de 16 traitements. Chaque traitement comporte 6 répétitions, soit 96 plants au total (Figure 3.2).



Figure 3.2 : Dispositif expérimental adopté

3.5 Protocole expérimental

Le présent travail vise à déterminer les effets néfastes du NaCl sur la capacité d'enracinement et sur quelques paramètres morpho-physiologique et biochimiques de quatre écotypes algériens.

Les jeunes raquettes (boutures) sont plantées dans des sachets en plastique (polyéthylène), de dimensions 28 x 13 x 6.5 cm, sur un substrat composé uniquement de sable fin (**Figure 3.2**). Les conteneurs de culture sont placés en plein air dans des conditions naturelles. Le chlorure de sodium (NaCl) a été choisi comme agent de stress. Quatre concentrations de NaCl 0 (témoin), 200 mM et 400 mM et 600 mM ont été utilisées. Les jeunes raquettes sont arrosées par les différentes concentrations de NaCl.

Les arrosages sont effectués de manière à maintenir le substrat de culture à la capacité au champ. La quantité d'eau apportée lors de chaque arrosage est de 100ml par conteneur.

3.6 Les paramètres étudiés

Des prélèvements de matériel végétal (cladodes et racines) (**figure 3.3**) sont effectués à partir de plantules témoins et traitées après 90 jours d'application du stress salin.

Les paramètres étudiés au cours de ce travail sont:

- Poids frais des racines (g)
- Longueur de racines la plus longue (mm).



Figure 3.3: Matériel végétale analysée

3.6.1 Teneur en proline au niveau des racines et au niveau des cladodes

La proline est dosée selon la technique utilisée par **TROLL et LINDESLEY (1955)** simplifiée et mise au point par **DREIER et GORING (1974)** et modifiée par **MONNEVEUX et NEMMAR (1986)**.

Le principe est la quantification de la réaction proline-ninhydrine par mesure spectrophotométrique.

La proline se couple avec la ninhydrine en formant un complexe coloré. L'intensité de la coloration est proportionnelle à la quantité de proline dans l'échantillon.

Un poids de 100 mg de matière fraîche de la partie aérienne et ou racinaire est prélevé de chaque répétition et mis dans des tubes à essai auxquels on rajoute 2 ml de Méthanol à 40 %. Les tubes couverts (pour éviter la volatilisation de l'alcool) sont portés à l'ébullition au bain-marie à 85 °C pendant 60 min.

Après refroidissement, 1 ml de l'extrait est prélevé de chaque tube et mis dans de nouveaux tubes auxquels, nous ajoutons 1 ml d'acide acétique.

Ensuite, nous avons ajouté, dans chaque tube, 1 ml de mélange contenant 120 ml d'eau distillée, 300 ml d'acide acétique, 80 ml d'acide orthophosphorique (H_3PO_4 , densité 1,7) et 25 mg de ninhydrine.

Le mélange est porté à l'ébullition durant 30 minutes et la solution vire vers le rouge. Après refroidissement des solutions, le chromatophore est extrait avec 5 ml de toluène. Deux phases se séparent après agitation au vortex. On prélève la phase supérieure contenant le chromatophore à laquelle on ajoute 5 mg du sulfate de sodium oxydé Na_2SO_4 à l'aide d'une spatule pour éliminer l'eau qu'elle contient. La lecture de la densité optique des échantillons est faite à l'aide d'un spectrophotomètre à la longueur d'onde de 528 nm, correspondant à son maximum d'absorption. Les valeurs obtenues sont ensuite reportées

sur la courbe d'étalonnage réalisée à partir de concentration croissante en proline préparée à partir d'une solution mère de 20 $\mu\text{g}/\text{ml}$. Les teneurs sont exprimées en $\mu\text{g}/\text{g}$ MF.



Figure 3.4: Dosage de proline

3.6.2 Teneur en sucres solubles totale au niveau des racines et au niveau des cladodes

Le dosage des sucres solubles est fait au niveau des racines, cladode âgée et cladode jeune des plantes selon la méthode de **DUBOIS, (1956)**. L'extraction des sucres solubles consiste à mettre 100 mg de matière fraîche dans des tubes à essai puis rajouter 2 ml d'éthanol à 80 %. Le tout est laissé 48 H. Le dosage se fait par évaporation du total de l'alcool en mettant les tubes à essai dans un bain marie à 70°. Après refroidissement, on complète le volume de chaque tube à essai à 20 ml avec de l'eau distillée. Puis nous prélevons 1ml de la solution auquel on ajoute 1ml de phénol à 5 % en prenant soin de bien agiter. Après, on ajoute 2 ml d'acide sulfurique concentré dans des tubes déposés préalablement dans un bain de glace. Enfin, le tout est laissé se reposer pendant 25 min et on procède à la lecture au spectrophotomètre à une longueur d'onde de 490 nm. Les teneurs en sucres sont déduites dans la courbe d'étalonnage réalisée à l'aide des concentrations croissantes en glucose obtenues à partir d'une solution mère de 100 $\mu\text{g}/\text{ml}$. Les teneurs sont exprimées en $\mu\text{g}/\text{g}$ MF.



Figure 3.5: Dosage de sucre soluble totale

3.6.3 Teneur en chlorophylle « a », « b », « totale »

Le dosage de la chlorophylle est réalisé par la méthode de **VERNON et SEELY (1966)** améliorée par **HEGAZI et al (1998)**. L'échantillon végétal est traité par un mélange de 75 % de l'acétone et 25% de l'éthanol. La densité optique est lue à 622 nm pour la chlorophylle (b) et 644 nm pour la chlorophylle (a).



Figure 3.6: Dosage de chlorophylle

3.7 Analyse statistique

Le logiciel utilisé pour l'analyse statistique est le StatBox 6.4, avec le programme de Microsoft Office Excel 2007.

Une analyse de la variance au seuil 5 % a été utilisée pour le traitement des résultats et qui consiste à rechercher si l'effet traitement est significatif avec certains risques d'erreurs. La signification des résultats est exprimée en fonction de la probabilité pour une erreur réellement commise.

Les comparaisons multiples de moyennes (CMM) constituent un moyen, permettant de dégager des différences entre les moyennes. La méthode de **NEWMAN et KEULS** dite aussi de la plus petite amplitude significative (PPAS), permet de comparer les amplitudes observées de deux ou plusieurs moyennes avec une amplitude maximale attendue à un niveau de signification donné.

CHAPITRE IV

RESULTATS ET DISCUSSION

4.1 Effet du stress salin sur le poids frais de racines (g)

Les résultats notent une diminution des valeurs du poids frais racinaire chez les différents écotypes étudiés. Ainsi, chez les témoins, les poids frais des racines restées plus élevées, comparativement aux poids frais des racines traitées par les différents niveaux de sel (**Tableau 4.1; Figure 4.1**).

Sous stress salin faible, modéré et sévère (600 mM NaCl), l'analyse de la variance, montre un effet très hautement significatif du stress salin sur le poids frais des racines de tous les écotypes étudiés (**P=0 ; Tableau 1, ANNEXE**).

L'apparition d'interaction très hautement significative entre traitement salin et l'écotype pour le poids frais de racine, montre bien l'intérêt de ce caractère dans la sélection des espèces tolérantes à la salinité.

Tableau 4.1: Résultats moyens du poids frais des racines sous différents niveau de NaCl

Ecotypes	Tolba	Mouchebbek	Maader	Oueled Darradj
0	7,83±1,27 C	15,97±0,98 A	15,7±1,91 A	9,83±3,06 B
200 mM	3,17±0,06 DE	4,5±1,04 D	4,53±0,29 D	1,83±0,06 DE
400 mM	1,7±0 DE	1,3±0,52 E	1,1±0,69 E	1,57±0,06 DE
600 mM	0,9±0,69 E	0,67±0,29 E	2,53±0,92 DE	1,7±1,91 DE
Signification	Très hautement significatif			

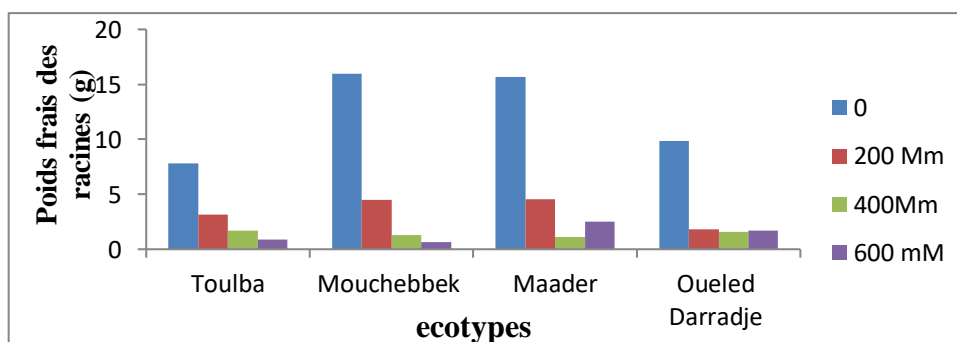


Figure 4.1 : Effet du stress salin sur poids frais de racine (g)

4.2 Effet du stress salin sur la longueur de la racine la plus longue (mm)

En l'absence de contrainte saline (témoin), l'écotype Mouchebbek présente la longueur la plus élevée. Par contre, l'écotype Tolba représente la longueur la plus faible par rapport aux autres écotypes étudiés (**Tableau 4.2; figure 4.2**).

Au niveau de tous les traitements salins (200 mM, 400 mM et 600 mM), l'analyse de la variance (**Tableau 4.2; Figure 4.2**), montre un effet très hautement significatif du stress salin sur la longueur de racine la plus longue de tous les écotypes étudiés (**P=0 ; Tableau 2, ANNEXE**).

L'apparition d'interaction très hautement significative entre traitement salin et l'écotype pour la longueur de racine la plus longue, montre bien l'intérêt de ce caractère dans la sélection des espèces tolérantes à la salinité.

Tableau 4.2: Résultats moyens de la longueur de racine la plus longue sous différents niveaux de NaCl

Écotype	Tolba	Mouchebbek	Maader	Oueled Darradj
0	115,28±13,97BC	225,29±6,41A	140,8±14,61 B	220,71±14,3 A
200 mM	86,6±3,46 CD	114,73±16,1BC	63,93±0,12D	59,3±3,52 D
400 mM	94,76±13,45 CD	67,4±2,2 D	58,76±9,36 D	81,54±0,95 CD
600 mM	58,59±6,92 D	51,21±17,78 D	82,97±3,07 CD	72,84±14,3 CD
Signification	Très hautement significatif			

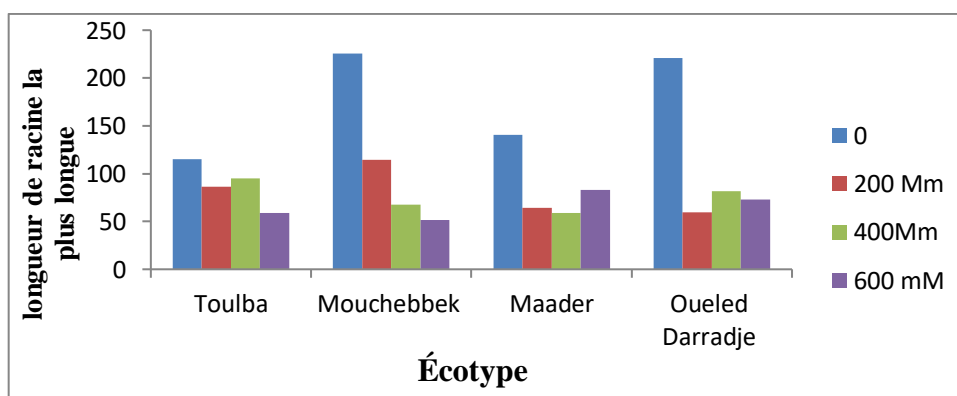


Figure 4.2: Effet du stress salin sur la longueur de racine la plus longue (mm)

4.3 Effet du stress salin sur la teneur en proline au niveau des racines

Dans les conditions normales (témoin), l'écotype Oueled Darradj, présente la teneur en proline dans les racines la plus élevée suivie par l'écotype Tolba. Par contre, la teneur la plus faible est enregistrée chez l'écotype Mouchebbek (**Tableau 4.3 ; Figure 4.3**).

Au niveau de tous les traitements salins (200 mM, 400 mM et 600 mM NaCl), l'analyse de la variance (**Tableau 4.3, figure 4.5**), montre un effet très hautement significatif du stress salin sur la teneur en proline au niveau des racines de tous les écotypes étudiés (**P=0; Tableau 3, ANNEXE**). L'accumulation de proline au niveau des racines (**Figure 4.3**) est positivement corrélée avec la salinité.

L'apparition d'interaction très hautement significative entre traitement salin et l'écotype pour la teneur en proline au niveau des racines, montre bien l'intérêt de ce caractère dans la sélection des espèces tolérantes à la salinité.

Tableau 4.3: Résultats moyens de la teneur en proline de racine sous différents niveau de NaCl

Ecotype	Tolba	Mouchebbek	Maader	Oueled Darradj
0	10,66±0,66 I	2,33±0,46 M	4±0,67 L	39,62±0,04 D
200 mM	10,18±0,10 I	4,46±0,065 KL	5±0,07 K	39,8±0,07 D
400 mM	42±0,67 C	11,7±0,04 H	6,91±0,101 J	48,66±0,66 B
600 mM	30,88±0,76 E	29,78±1,018 F	15,71±0,101 G	64,2±0,07 A
Signification	Très hautement significatif			

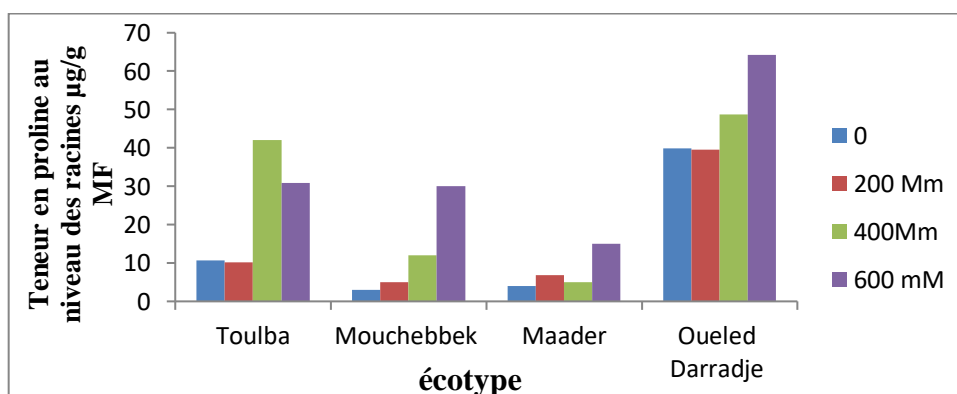


Figure 4.3 : Effet du stress salin sur la teneur en proline au niveau des racines

4.4 Effet du stress salin sur la teneur en proline au niveau des cladodes

En l'absence de stress, l'écotype Oueled Darradj présente la teneur en proline au niveau des cladodes âgées la plus élevée suivie par l'écotype Tolba, par contre la teneur la plus faible est enregistrée chez l'écotype Mouchebbek (**Tableau 4.4; Figure 4.4**).

L'analyse de la variance (**Tableau 4.4 ; Figure 4.4**), montre que la présence de 200 mM, 400 mM et 600 mM NaCl dans l'eau d'irrigation induit une augmentation très hautement significative des teneurs en proline au niveau des cladodes âgées chez tous les écotypes étudiés (**P=0; Tableau 4, ANNEXE**). L'accumulation de proline au niveau des cladodes (**Figure 4.4**) est positivement corrélée avec la salinité.

L'apparition d'interaction très hautement significative entre traitement salin et l'écotype pour la teneur en proline au niveau des cladodes, montre bien l'intérêt de ce caractère dans la sélection des espèces tolérantes à la salinité.

Tableau 4.4 : Résultats moyens de la teneur en proline des cladodes sous l'effet de NaCl

Ecotypes	Tolba	Mouchebbek	Maader	Oueled Darradj
0	16,8±0,07 F	0,91±0,10 G	3,27±0,67 G	37,623±0,16 C
200 mM	30,2±0,2 D	3,2±0,07 G	3,8±0,07 G	44,91±0,23 B
400 mM	30,1±0,035 D	14,53±0,36 F	14,53±0,06 F	50,11±0,10 B
600 mM	48,73±0,065 B	23,91±0,10 E	17,96±0,12 F	56,353±0,04 A
Signification	Très hautement significatif			

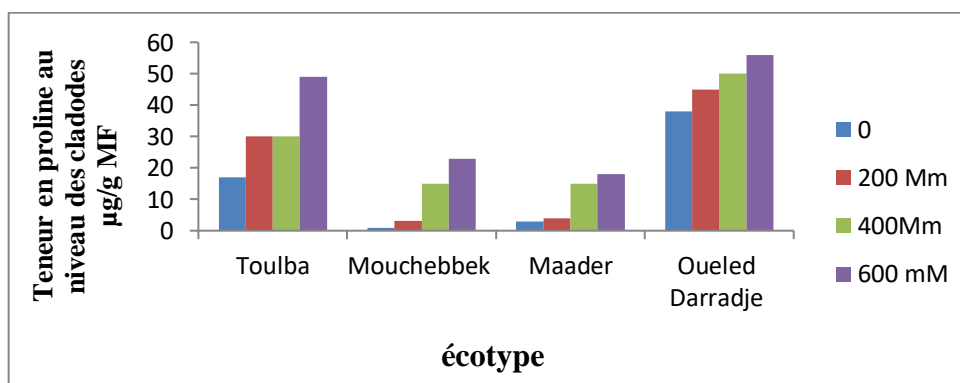


Figure 4.4 : Effet du stress salin sur la teneur en proline au niveau des cladodes

4.5 Effet du stress salin sur la teneur en sucres solubles totales au niveau des racines

Dans les conditions normales (témoin), l'écotype Oueled Darradj présente la teneur en sucres solubles totale au niveau des racines la plus élevée. Par contre, les teneurs les plus faibles sont enregistrées chez les écotypes Maader, Tolba et Mouchebbek (**Tableau 4.5 ; Figure 4.5**).

Au niveau du stress salins faible, modéré et sévère (200 mM, 400 mM et 600 mM NaCl), l'analyse de la variance (**Tableau 4.5; Figure 4.5**), montre un effet très hautement significatif du stress salin sur l'accumulation des teneurs en sucres solubles chez tous les écotypes étudiés (**P=0; Tableau 5 ANNEXE**). L'accumulation des sucres solubles totale au niveau des racines (**Figure 4.5**) est positivement corrélée avec la salinité.

L'apparition d'interaction très hautement significative entre traitement salin et l'écotype pour la teneur en sucre soluble totales au niveau des racines, montre bien l'intérêt de ce caractère dans la sélection des espèces tolérantes à la salinité.

Tableau 4.5 : Résultats moyens de la teneur en sucres solubles de racine sous l'effet de NaCl

Écotypes	Tolba	Mouchebbek	Maader	Oueled Darradj
0	8,26±0.46 IJ	8,98±1.22 IJ	5,16±0.13 J	20,44±1.52 IH
200 mM	13,96±0.13 HIJ	15,29±0.66 HI	131,2±0.28 D	21.16±4 H
400 mM	15,96±0.22 HI	63,37±1 F	191,65±0.3 C	22,49±1.7 H
600 mM	43,33± 2.6G	222,84±1.6 B	242,30±0.16 A	104,36±0.13 E
Signification	Très hautement significatif			

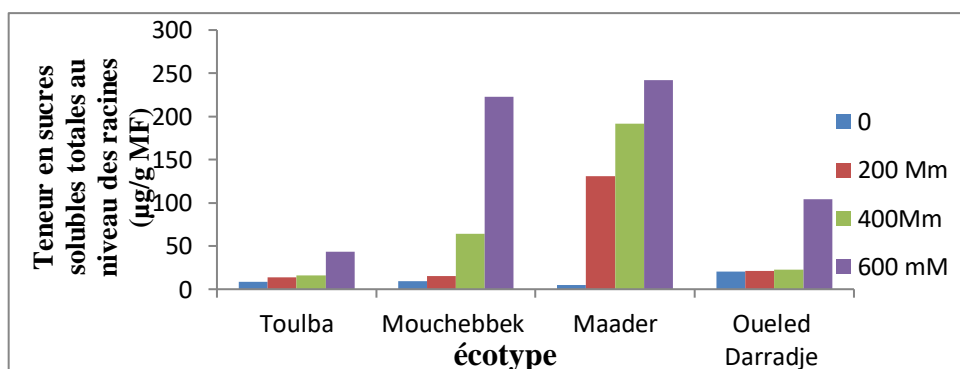


Figure 4.5 : Teneur en sucres solubles totales au niveau des racines en fonction de NaCl

4.6 Effet du stress salin sur la teneur en sucres solubles totales au niveau des cladodes

Dans les conditions normales (témoin), l'écotype Tolba, Maader présente les teneurs en sucres solubles totale au niveau des cladodes âgées les plus élevées suivi par l'écotype Oueled Darradj. Par contre, la teneur la plus faible est enregistrée chez l'écotype Maader (Tableau 4.6 ; Figure 4.6).

Au niveau de tous les traitements salin (200 mM, 400 mM NaCl), l'analyse de la variance (Tableau 4.6 ; Figure 4.6), montre un effet très hautement significatif du stress salin sur l'accumulation des teneurs en sucres solubles dans les cladodes âgées ($P=0$; Tableau 6, ANNEXE) chez toutes les espèces étudiées. L'accumulation de sucre soluble total au niveau des cladodes (Figure 4.6) est positivement corrélée avec la salinité.

L'apparition d'interaction très hautement significative entre traitement salin et l'écotype pour la teneur en sucre soluble totales au niveau des cladodes, montre bien l'intérêt de ce caractère dans la sélection des espèces tolérantes à la salinité.

Tableau 4.6 : Effet du stress salin sur la teneur en sucres solubles totales des cladodes

Ecotypes	Tolba	Mouchebbek	Maader	Oueled Darradj
0	29,15± 0,69 H	26,41±1,42 I	15,37±0,85 L	27,55±0,40 HI
200 mM	40,09±0,94 F	42,19±1,03 E	17.15±0,40 K	28,45±2,03 H
400 mM	53,32±0,26 C	42,94±1,18 E	22.95±1,21 J	31,54±1,2 G
600 mM	55,83±0,56 B	50,05±0,89 D	86,93±0,26 A	52,35±0,40 C
Signification	Très hautement significatif			

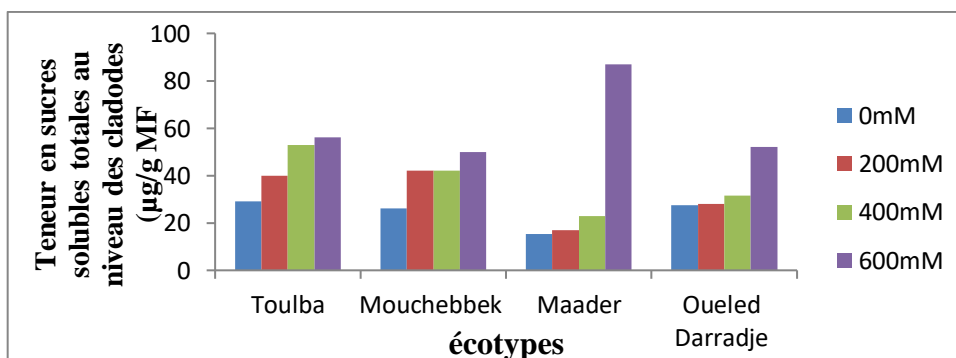


Figure 4.6 : Teneur en sucres solubles totales au niveau des cladodes en fonction de NaCl

4.7 Effet du stress salin sur teneur en chlorophylle « a »

Au niveau de tous les traitements salin (200 mM, 400 mM et 600 mM), l'analyse de la variance, indiquent que la teneur en chlorophylle « a » de tous les écotypes étudiés, ne présentent pas de différence significative (**Probabilité = 0,44 ; Tableau 7; ANNEXE**).

4.8 Effet du stress salin sur teneur en chlorophylle « b »

Au niveau de tous les traitements salin (200 mM, 400 mM et 600 mM), l'analyse de la variance, indiquent que la teneur en chlorophylle « b » de tous les écotypes étudiés, ne présentent pas de différence significative (**Probabilité = 0,12; Tableau 8, ANNEXE**).

4.9 Effet du stress salin sur teneur en chlorophylle totale

Au niveau de tous les traitements salin (200 mM, 400 mM et 600 mM), l'analyse de la variance, indiquent que la teneur en chlorophylle totale de tous les écotypes étudiés, ne présentent pas de différence significative (**Probabilité = 0,19; Tableau 9, ANNEXE**).

4.10 Classification des différents écotypes du figuier de barbarie étudiés en groupes homogènes, selon le test Newman-Keuls, pour le paramètre le plus discriminant

La comparaison de $F_{\text{observé}}$ de tous les traitements salin (0, 200 mM, 400 mM, 600 mM NaCl) combinée avec les quatre écotypes (Tolba, Mouchebbek, Maader, Oueled Darradj) montre que la teneur en sucre soluble totales au niveau des racines est le paramètre le plus discriminant ($F= 3295.19$, **Tableau 4.7**), suivi par la teneur en sucres solubles totales au niveau des cladodes ($F= 641.85$; **Tableau 4.7**). En effet, c'est l'écotype Maader qui semble être la moins affecté par le sel (Groupe A, **Tableau 4.8**), suivie par l'écotype Mouchebbek (Groupe B, **Tableau 4.8**).

Tableau 4.7 : Classification des différents paramètres analysés selon le test F

Les paramètres	Test F
Teneur en sucre solubles totales au niveau des racines ($\mu\text{g/g MF}$)	3295,197
Teneur en sucre solubles totales au niveau des cladodes ($\mu\text{g/g MF}$)	641,856
Teneur en proline au niveau des cladode ($\mu\text{g/g MF}$)	415,608
Teneur en proline au niveau racines ($\mu\text{g/g MF}$)	328,637
Longueur de racine la plus longue (mm)	10,8
Poids de racine (g)	9,03
Teneur en Ch « a » ($\mu\text{g/g MF}$)	1,03
Teneur en Ch « b » ($\mu\text{g/g MF}$)	1,71
Teneur en Ch « totale ($\mu\text{g/g MF}$)	1,48

Il apparait de la lecture du (**Tableau 4.8**) que l'écotype Maader est significativement le **meilleur (Groupe A)**, comparativement aux autres écotypes. Suivi par l'écotype Mouchebbek (Groupe B, **Tableau 4.8**). Vient ensuite l'écotype Oueled Darradj. L'écotype Tolba, quant à-il, il se montre le plus sensible au stress salin.

Tableau 4.8 : Classification des différents écotypes du figuier de barbarie étudiés en groupes homogènes, selon le test Newman-Keuls, pour la teneur en sucres solubles totale au niveau des racines

Ecotypes	Moyenne estimée	Groupe homogène
Maader	142,557	A
Mouchebbek	77,733	B
Oueled Darradj	44,613	C
Tolba	20,436	D

DISCUSSION

Le comportement de quatre écotypes du figuier de barbarie face au stress salin provoqué par les concentrations croissantes de NaCl, est déterminé par l'évaluation de la longueur de racine la plus longue, du poids frais des racines, de la teneur en proline dans les racines et dans les cladodes, de la teneur en sucres solubles totales au niveau des racines et au niveau des cladodes, et de la teneur en chlorophylle (*a*, *b* et totale)

1. Les paramètres morphologiques

Le stress salin exerce chez les écotypes d'*Opuntia* étudiés un effet dépressif sur le poids des racines et sur la longueur de racine la plus longue. Le degré de sensibilité ou de tolérance dépend de l'écotype et de l'intensité du stress.

Des résultats similaires montrant un effet du stress salin sur les caractères morphologiques ont été mis en évidence pour quelques espèces du genre *Opuntia* (**Chaum et al, 2013 ; Franco-Salazar et al, 2007 ; Gersani et al, 1993 ; Murillo-Amador et al, 2001 ; Rodri'guez et al, 1997 ; Silverman et al, 1988 ; Nobel et al, 1994 ; Lohaus et al, 2000**).

Cette diminution observée chez les plantes d'*Opuntia* est expliquée par le fait que NaCl agit en augmentant la pression osmotique du milieu, ce qui empêche l'absorption en eau par le système racinaire (**Marshner, 1995, Navarro et al, 2002**) et entraîne par conséquent, une réduction de la croissance.

2. Les paramètres biochimiques

Les résultats obtenus montrent que, la proline augmente de teneur dans tous les organes (cladodes et racines) de la plante en fonction de l'augmentation de la salinité. Ces résultats montrent aussi que les cladodes âgées sont plus riches en proline que les racines, aussi bien dans les conditions témoins que dans les conditions de salinité. Les teneurs maximales en proline dans les cladodes sont accumulées en présence d'un stress salin sévère (600 mM NaCl).

Nos résultats rejoignent ceux obtenues par d'autres auteurs sur des espèces différentes. En effet, **Ben Khaled et al, (2003)**, rapportent que l'exposition des plantules de trèfle d'Alexandrie à 2, 4, 6 et 8 g.l-1 de NaCl, a induit une accumulation de sucres solubles dans les feuilles (**Ben Khaled et al, 2003**). **Mohsen et al, (2013)**, on notent sous l'effet de 100 mM et 150 mM NaCl, une accumulation des sucres solubles totale chez *Vicia faba*, cette augmentation est observée aussi bien dans les feuilles que dans les racines.

De nombreux travaux rapportent que la proline s'accumule dans la plante lorsqu'elle se trouve en conditions défavorables (**Sivarama-Krishnan, 1988**), ce qui traduit le caractère de la résistance aux stress (**Ashraf and Harris, 2004 ; Greenway et Munns, 1980**). Par contre chez les plantes sensible, la présence de cet acide aminé est moindre (**Chen et al, 1995**). L'accumulation de la proline n'est pas une conséquence de stress salin mais plutôt elle est métabolisée comme facteur de tolérance. **Silva-ortega et al, (2008)** ont constaté dans leur étude de l'*Opuntia streptacantha* soumise au 150 mM NaCl durant 20 jours, que le stress entraîne la synthèse de l'ABA, qui induit l'augmentation de l'expression de gène *P5CS*, responsable de la synthèse de delta-1-pyrroline-5- carboxylate-synthétase, une enzyme régulatrice clé impliqué dans la biosynthèse de la proline. L'accumulation de la proline serait impliquée dans les mécanismes de l'ajustement osmotique et serviraient aussi comme osmo-protecteur. De ce fait, ce paramètre pourrait servir comme marqueur d'ordre biochimique de sélection pour les écotypes étudiés.

Chez tous les écotypes, les résultats montrent aussi l'évolution de la teneur en sucres solubles dans les différents organes avec l'augmentation de la salinité du milieu. L'accumulation de ces composés carbonyliques est beaucoup plus importante dans les cladodes que dans les racines.

L'accumulation des sucres semble induire la gélification du contenu cellulaire en saturant le milieu intracellulaire ; ce phénomène permettant d'éviter la cristallisation des molécules contenues dans la cellule et donc limite les dommages au niveau des structures cellulaires (**Dubos, 2001**). L'accumulation des sucres solubles sous l'effet du stress salin serait due, selon certains auteurs à une modification d'activités enzymatiques liées au métabolisme glucidique. Ainsi, **Udomchalothorn et al., (2009)** observent chez les plantes de riz soumises à un stress une diminution de l'activité du fructose 2-6-biphosphate

(F26BP), conduisant à une accumulation de saccharose et contribuant ainsi à l'augmentation de la tolérance au sel chez certaines variétés en augmentant l'osmolarité interne des cellules et les réserves disponibles en carbone. Cet élément est considéré comme un marqueur biochimique du degré de tolérance et par conséquent pourrait être utilisé dans les programmes de sélection.

Il semble exister une certaine proportionnalité entre les teneurs en proline accumulées et celles des sucres solubles. L'écotype d'*Opuntia* qui accumule plus de composé azoté est aussi celle qui connaît la plus forte accumulation des composés carbonyliques et vice versa. Donc, l'accumulation des teneurs en proline, sous stress salin, est proportionnelle à l'accumulation des teneurs en sucres solubles. Ces résultats traduisent l'existence d'une connexion entre la voie de la biosynthèse de la proline et l'accumulation des sucres solubles. D'une façon générale, ils pourraient fournir les précurseurs carbonés et l'énergie chimique nécessaire à la synthèse de la proline. L' α -cétoglutarate, intermédiaire de la voie respiratoire lors de l'oxydation du glucose, joue un rôle particulièrement important comme accepteur de groupement aminé de la glutamine, pour la conversion en glutamate. Celui-ci est le précurseur principal de la proline lors d'une situation de stress **(Hopkins, 2003)**.

L'analyse de la teneur en chlorophylle (a) montre qu'elle est moins sensible au stress salin. Par comparaison avec les travaux de **Lallouche et al, (2017)**, où ils ont mentionné qu'il y a une diminution de la teneur en chlorophylle totale, « a » et « b » chez cinq espèces d'*Opuntia* soumises à des concentrations accentuées de salinité, nos résultats sont complètement différents.

CONCLUSION

Cette étude expérimentale a été entreprise dans le but d'étudier la tolérance de quatre écotypes du figuier de barbarie « *Opuntia ficus indica* » à la salinité, et d'identifier d'éventuels critères agro-physiologiques d'évaluation du degré de tolérance de ces quatre écotypes à la salinité. Les résultats obtenus nous permettent de tirer les conclusions suivantes.

L'influence de la salinité dans le milieu se traduit par une diminution de la croissance des quatre écotypes qui est d'autant plus importante que l'intensité du stress est plus accentuée, surtout aux doses de sel les plus élevées (600 mM). Nos résultats ont montré que les quatre écotypes présentent un comportement similaire (pas de différence significative) pour les caractères : masse fraîche de la partie racinaire, longueur de racine la plus longue. Cependant, l'écotype Maader développe un système racinaire plus important (elle produit plus de matière fraîche racinaire) que les autres écotypes aussi bien en milieu témoin qu'en conditions de contrainte saline suivi par l'écotype Mouchebbek.

Les quatre écotypes, réagissent en moyenne par une augmentation similaire de la teneur en proline. Cette réaction s'amplifie avec l'intensité de la contrainte saline.

L'accumulation des sucres solubles est une autre composante essentielle de l'ajustement osmotique du figuier de barbarie et de nombreuses espèces cultivées. Une augmentation de la teneur en sucres solubles a été notée pour les quatre écotypes sous 600 mM de NaCl.

A l'issue du travail réalisé sur les quatre écotypes du figuier de barbarie, nous pouvons conclure que sur la base des paramètres les plus discriminants, l'écotype Maader, suivi par l'écotype Mouchebbek semble mieux supporter la contrainte saline que les autres écotypes. Cependant, il est difficile de définir avec certitude des critères pertinents de tolérance vu que la capacité des plantes à survivre et à se développer en situation de stress abiotique est un caractère complexe et polygénique, ayant pour origine de nombreux processus agissant de façon additive et synergique.

Pour une meilleure appréciation de ce travail, il serait intéressant de le compléter et de l'enrichir par :

- L'introduction d'un plus grand nombre des écotypes du figuier de barbarie
- L'étude de plus de caractères agronomiques relatifs au développement végétatif
- Un intérêt particulier à la partie racinaire qui est aussi importante pour la tolérance à la salinité du figuier de barbarie que la partie aérienne de par son rôle dans l'absorption des éléments nutritifs nécessaires et la séquestration des éléments toxiques.
- Une étude faisant intervenir d'autres mesures physiologiques, comme le potentiel photosynthétique avec ses paramètres : résistance stomatique et potentiel hydrique foliaire.
- Le dosage d'éléments antioxydants impliqués dans le mécanisme de détoxification tels catalase, l'ascorbate peroxydase et le superoxyde dismutase.
- Le dosage d'autres solutés aussi importants pour l'osmorégulation que la proline et les sucres solubles comme la glycine bétaine.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abdely C., 2006.** Caractérisation des halophytes pour le dessalement des sols salins et le traitement des eaux salines. Rapport d'activités 2007. Centre de biotechnologie à la technopole de Borj-Cedria, Tunisie, pp. 28-31.
- Akita S, Cabuslay GS (1990).** Physiological basis of differential response to salinity in rice cultivars. *Plant Soil* 123, 277-294
- Alem C. et Amri A., 2005.** Importance de la stabilité des membranes cellulaires dans la tolérance à la salinité chez l'orge. *Review in Biology and Biotechnology*, Vol.4(1) :20-31.
- A.M.E Agence Méditerranéenne de l'Environnement.** « Plantes envahissantes de la région méditerranéenne », Fichier N°12 "Opuntia spp. Oponces ou figuier de Barbarie" Agence Régionale Pour l'Environnement Provence-Alpes-Côte d'Azur, 2003, p.51
- Anaya-Pérez. M.A.** «History of the use of Opuntia as forage in Mexico», In: Mondragon. J.C et Perez-Gonzalez. S, (Eds.), *Cactus (Opuntia spp.) as storage*. Rome, Italy, FAO, 2001, pp 5-10.
- Araba, 2009.** " le cactus opuntia, une espèce fruitière et fourragère pour une agriculture durable au Maroc " pp215-223.
- Araba. A, El Aich. A et Sarti. B.** «Valorisation du figuier de Barbarie en élevage», *Bulletin Mensuelle d'Information et de Liaison du PNTT* N° 68, 2000, pp 1-4.
- Arba M, El aich A, Sarti B, Belbahri LL, Boubekraoui A, Zemmouri A, Sbaa H.** Valorisation du figuier de barbarie en élevage. *Bull. Mens. Inf. et de liaison du PNTTA.*, 2000, 68 : 1-4.
- Ashraf, M. and Harris, P.J.C.** Potential Biochemical Indicators of salinity tolerance in plants. *Plant Sci*, (2004), 166, 3-16.
- Aubert G., 1982.** les sols sodiques en Afrique du nord .Cahier O.R.S.T.O.M .Service Pédologie : 194p.
- Azevedo, R.B.R., Lohaus, R., Srinivasan, S., Dang, K.K., Burch, C.L. (2006).** Sexual reproduction selects for robustness and negative epistasis in artificial gene networks. *Nature* 440(7080): 87--90.
- Badni, 2012.** Eaux d'irrigation et salinité des sols en zone semi-aride: Exemple dans le moyen chellif " parcelle à Ouled Ben Aek" : Conception et modélisation des systèmes « irrigation-drainage », Magister en Hydraulique, Université Hassiba Benbouali de Chlef / Faculté de Génie Civil et d'Architecture.160p

- Balibrea ME, Dell' Amico J, Bolarín MC, Perez-Alfocea F (2000).** Carbon partitioning and sucrose metabolism in tomato plants growing under salinity. *Physiol. Plant.* 110:503-511.
- Barnum N. et poljakoff –Mayber A., 1979** Intervarietal différences in the amino composition of pea roots as related to their response to salinity. *Ann. Bot* ;44,p. 309-314
- Belkhodja M., 1996.** Action de la salinité sur le comportement physiologique, métabolique chez la fève (*Vicia faba L.*) thèse Doct. Université d'oran, 255p
- Bellinger Y, Bensaoud A, Larher F. 1991.** Physiological significance of proline accumulation, a trait of use to breeding for stress tolerance. Colloque Physiology-Breeding of winter Cereals for Stressed Mediterranean Environments, Montpellier (France), 3-6 July 1989. Les colloques N°55. Paris : Inra éditions
- Beloued. A.B.D.** «Plantes médicinales d'Algérie», OPU. Ben-Aknoun Alger, 2001, p. 277.
- Ben Attia farah K, 2017.** analyse et application des extraits de pépins de figes de barbarie, thèse en doctorat en chimie, Université de Aboubekr Bel kaid- Tlemcen , p6 .p30,p38. P11.
- Ben Khaled, L.Morte Gómez, A. Honrubia, M. Oihabi, A.** -Effet du stress salin en milieu hydroponique sur le trèfle inoculé par rhizobiuml. *Agronomie, EDP Sciences* 23(7), (2003), 553-560.
- Ben Naceur M et al ., 2001.** Effet du stress salin sur la croissance et la production en grains de quelques variétés maghrébines de blé. *Sécheresse*, vol 12, pp 167-174.
- Bhira Oumaya.** Potentialités Thérapeutique d'opuntia ficus indica en Maroc et en Tunisie, thèse pour l'obtention du doctorat en pharmacie, 1956, pp171.
- Bouchoukh I., 2010.** Comportement écophysologique de deux Chénopodiacées des genres *Atriplex* et *Spinacia* soumises au stress salin .p 16- 29- 6 -35
- Boudjellaba S,Yassa A.** "Activité antioxydante des graine de quelque variée de figuier de barbarie (*Opuntia ficus –indica L*) de la région de Bédjaia, Mémoire de fin de cycle en vue de l'obtention de diplôme d'ingénieur d'état de contrôle de qualité et analyse,2012, p58 .
- Boujghagh M, et Chajia L, 2001.** Le cactus: outil de gestion de la sécheresse dans le Sud Marocain. *Terre et Vie* 52: 1-7.
- Boullard B., (1988).** Dictionnaire de Botanique. Marketing Ed. 1988 HUISMAN, M.M.M; schools, H.A; voragen, A.G.J, carbohydr .POLYM, 1999, 38(4), 299-307.
- Buhl M.B., Stewart C.R.** Effects of NaCl on proline synthesis and utilisation in excised barley leaves, *Plant Physiol.* 72 (1983) 664– 667.

- Cha-um, S. Samphumphuang, T. and Kirdmanee, C.** Morphological and Physio-biochemical Changes of in Vitro Cactus (*Echinopsis calochlora*) in Responses to Salt Stress. *Europ. J. Hort. Sci.*, 78(5), (2013), 225-231.
- Chen, H. Kuang, D. and Wang, J.** Studies on selection and characterisation of a stress tolerant sugarcane cell line. *Chin. J. Biotechnol.*, 11, 2, (1995), p.93-99.
- Chinnusamy V, Schumaker K, Zhu J (2004).** Molecular genetic perspectives on cross-talk and specificity in abiotic stress signaling in plants. *Journal of Experimental Botany* 55: 225-236.
- Clavel, D, A. Barro, T. Belay, R. Lahmar, F. Maraux.** Changements techniques et dynamique d'innovation agricole en Afrique sahélo-saharienne: le cas du Zaï mécanisé au Burkina Faso et de l'introduction d'une cactée en Ethiopie. *La revue en sciences de l'environnement*, Vol8 no3, décembre 2008.10p.
- Crosta G., Vecchio V., 1979.** Il fico d'India come fonte alimentare per il bestiame nelle zone aride. *Rivista di Agricoltura Subtropicale e Tropicale*, 73 (1/2): 79-85.
- Del Vall V, P. Hernandez Munoz, A. Guarda, M.J. Galotto.** Development of a cactus mucilage edible coating (*Opuntia ficus indica*) and its application to extend strawberry (*Fragaria ananassa*) shelf-life, *Food chemistry*; 2005; 91: 571-756.
- Derd. Madrpm, (2000).** transfert de technologie en agriculture, valorisation de figuier de barbarie en élevage, N°68, mai 2000, P4.
- Djellouli, H.T.Y.** «Etude climatique et bioclimatique des hauts plateaux du sud Oranais, wilaya de Saida comportements des espèces vis à vis des éléments du climat», thèse de doctorat de 3eme cycle en science biologique, option écologie végétale, Université des Science et de la Technologie Houari Boumediene, Alger, (1981), 178.
- Dos Santos. D.C et de Albuquerque.S.G.** «Fodder use in the semi-arid northeast of Brazil» In: Mondragon. J.C et Perez-Gonzalez. S, (Ed.). «Cactus (*Opuntia* spp) as forage», F.A.O. plant production and protection paper 169, FAO, Rome Italie, 2001, pp 37–49.
- Dreier, W. et Göring, M. (1974).** Der einfluss hoher salzkonzentration auf verschieden physiologische parameter von maiswurzeln. *Win Z. der HU Berlin, Nath. Naturwiss. R.*, 23: 641-644
- Dubeux JR.** Ferreira dos Santos MV, de Andrade Lira M, Cordeiro dos Santos D, Farias I, Lima LE, Ferreira RLC. Productivity of *Opuntia ficus-indica* under different N and P fertilization and plant population in north-east Brazil. *J.Arid.Envir.* 2006, 67: 357- 372.
- Dubois, M. Gilles, K.A. Hamilton, J.K. Rebers, P.A and Smith, F.** Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal. Chem.*, 28, (1956), 350-356.

- Dubos, C.** Réponse moléculaire de jeunes plants de pin maritime soumis à un stress hydrique en milieu hydroponique. Thèse de Doc. Université Henri Poincaré, Nancy I, (2001), p. 54-55.
- EL mekaoui M, 1987.** Etude de la tolérance du NaCl chez le blé dur, tender et l'orge;Thèse ing ENSA MONTPELLIER. France.
- El-Hendawy, S.E., Y. Hu and U. Schmidhalter, 2004.** Growth, ion content, gas exchange and water relations of wheat genotypes differing in salt tolerances. Aust. J. Agric. Res., 56: 123-134.
- F.A.O., 2005.** Global network on integrated soil management for sustainable use of salt affected soils. Rome, Italy: FAO Land and plant nutrition management service.
- Fadili, M. (2000).** Étude des caractéristiques physico-chimiques des figues de barbarie de la variété Moussa et Clone Rehamna. Actes de la deuxième journée nationale sur la culture du cactus, El KELAA DES SRAGHNA
- Fernandez M.L., Trejo A., and Mcnamara D.J.** Pectin isolated From Prickly pear (Opuntia sp) modifies low density lipoprotein metabolism in cholesterol-fed guinea pigs. J. Nutr., 1990, 120, 1283-1290.
- Franco-Salazar, V. Véliz, J.** Respuestas de la tuna « Opuntia ficus-indica (L.) Mill. » al NaCl. Interciencia 32, (2007), 125-130.
- Gersani, M. Graham, A.E. Nobel, P.S.** Growth response of individual roots of Opuntia ficus-indica to salinity. Plant Cell Environ. 16, (1993), 827-834.
- Granata. G.** «Biotic and abiotic diseases», In: Barbera. G, inglese. P, Pimienta. B.E et Arias. J.E. de J, (eds.), «Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear», F.A.O., plant production and production paper 132, Rome Italy, 1995, pp109 - 119.
- Greco, J.** «L'érosion, la défense et la restauration des sols, le reboisement en Algérie», Alger Algérie, (1966), 393
- Greenway, H. et Munns, R.** Mechanism of salt tolerance in non-halophytes. Annu. Rev. Plant Physiol., 31, (1980), 149-190
- Gutterman (Y.), 1993.** Strategies of dispersal and germination in plants inhabiting deserts. Bot. Rev., 60 : 373-425.
- Guzman U, Arias S, Dávila P.** In: Reyes-Aguero JA, Aguirre JR, Valiente-Banuet A. Reproductive biology of Opuntia: A review. Journal of Arid Environments. 2006, p.549-589.

H.C.D.S. Document de l'HCDS de Tébessa. Redjel, N., «La promotion de la culture de l'Opuntia», Document du Haut-Commissariat au Développement de la Steppe. Commissariat régional de Tébessa, 1998.

Habibi, Y. (2004). Contribution à l'étude morphologique, ultrastructurale et chimique de la figue de barbarie. Les polysaccharides pariétaux: caractérisation et modification chimique, Thèse soutenue en vue d'obtention du grade de Docteur de l'université Josef Fourier et l'université Cadi Ayyad.

Halmi S, 2015. Etude botanique et photochimique: Approche biologique et pharmacologique d'opuntia ficus indica, thèse en vue de l'obtention du diplôme de doctorat en sciences, p6.

Hamza N, 2011. Etude de la salinité des sols par la méthode de détection électromagnétique dans le périmètre irrigué de kalâcat Landelous en tunisie : cas d'une parcelle de courge, Faculté des lettres, des arts et des humanités Manouba- Master de recherche environnement, aménagement et risque. 74-80 PP.

Hamza.M, 1982. adaptation physiologique des plantes cultivées à la salinité, bulletin soc ; écophysologie végétale 169-184 pp.

Hare PD, Cress WA, van Staden J. 1998. Dissecting the roles of osmolyte accumulation during stress. *Plant, Cell and Environment* 21, 535–553.

Hartani.T, Douaoui.A, Kuper M. (éditeurs scientifiques) . Economies d'eau en systèmes irrigués au Maghreb. Actes du quatrième atelier régional du projet Sirma, Mostaganem, Algérie, 26-28 mai 2008. Cirad, Montpellier, France, colloques-cédérom.

Hasegawa PM, Bressan RA, Zhu J-K, Bohnert HJ. 2000. Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol.* 51:463–499. Doi: 10.1146/annurev.arplant.51.1.463

Hegazi A., Abou-Bakr Z., Naim M., Khalfallah A., 1998. Effect of some antitranspirants on growth and some metabolic products of wheat plants under water interval irrigation systems. *The Desert Institute Bulletin* 48: 153-171.

Helmuth G.Z; Granata G (1997). Insect Pests. And Diseases. Dans *Cacti Biology and Uses*. P.S.Nobel Ed., 1997; pp.235-254.

Hernández JA, Talavera JM, Martínez-Gómez P, Dicenta F, Sevilla F. Response of antioxidant enzymes to plum pox virus in two apricot cultivars. *Physiol Plant.* 2001;111:313–321..

Higazy M., Shehata M., Allam A., 1995. Free proline relation to salinity of three sugar beet varieties. *Egyptian Journal of Agricultural Research*, 73: 175-89.

- Hopkins, W.G.** «Physiologie végétale». 2ème édition. De Boeck, Bruscelles: (2003), 461-476.
- Houérou. H.N.** «The rôle of cacti (*Opuntia* Sp.) in Erosion control, land reclamation, réhabilitation and agricultural development in the Mediterranean Basin», *Journal of arid environements*, 33, 1996, pp 135 -159.
- Huisman, M.M.H. ; Schols, H.A.; voragen, A.G.J.** *Carbohydr.Polym.*, 1999,38(4) ,299-307.
- Inglese. P, Barbera. G et Carimi. F.** «The effect of different amount of cladodes removal on re.owering of cactus pear (*Opuntia ficus-indica* (L) Miller) », *Journal of Horticulture Science* 69, 1994, pp 61 - 65.
- Inglese. P.** «Orchard planting and management», In: Barbera. G.P Inglese et Pimienta. E.B, (eds.). *Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear*. FAO.Rome Italy, 1995, pp 78 - 91.
- Jabnoune M., 2008.** *Adaptation des plantes à l'environnement : Stress salin*. PrésentationPower Point.
- Karmous C., 2007.** *Contribution à l'étude des mécanismes de tolérance à la salinité au stade juvénile chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) : aspects physiologique, biochimique et moléculaire*. Thèse de doctorat en agronomie et science de la production végétale. INAT, Tunis: 211p.
- Khales A et Baaziz M., 2006.** *Etude des peroxydases d'écotypes d'Opuntia Ficus indica L en relation avec le développement dans les conditions de stress Salin*. Congrèsinternational de Biochimie, Agadir: pp. 133-136.
- Khouri. M.S.** «Opuntias, bilan écologique en Algérie», INRA et CAREF, Janv. 1970, p.59
- Kozlowski T.T., Pallardy S.G., 1997 b.** *Growth control in woody plants*. - Academic Press, San Diego, CA, USA.
- Lallouche B, 2008.** *hybridation de l'opuntia ficus indica Mill.f.inermis par quatre especes d'opuntia (*O. robusta* var. *robusta* ; *O. engelmannii* var. *languiformis* ; *O. ficus indica* Mill.f. *amyyclea* ; *O streptacantha* Lem.) dans les zones arides et semi-arides*. Mémoire de magister, Faculté des sciences agro- Vétérinaire, Département d'Agronomie, Université de Blida, p.132.
- Lallouche.b, Boutekrabt .A, Hadjkouider .B ; Riahi L. Lamine. S and Zoghلامي N. 2017.** *Use of physio-biochemical traits to evaluate the salt tolerance of five opuntiaspecies in the Algerian steppes*. *Pak. J. Bot.*, 49(3): 837-845, 2017.

- Lambdin P. L., Aquino G. P, Green, M. J.F.** Soto-Hernandez. Synopsis of carmine acid biosyntheses, Cactus net, 2002; 7: 11-15
- Levigneron A, Lopez F, Varisuyt G, Berthomien P et Casse-DELBAR T., 1995.** Les plantes face au stress salin. Cahier d'agriculture. (4): 263-273.
- Levit, 1972.** reponses of plants to environmental stresses, Academic press New York.
- Lohaus, G. Hussmann, M. Pennewiss, K. Schneider, H. Zhu, J.J. Sattelmacher, B.** Solute balance of a maize (*Zea mays* L.) source leaf as affected by a salt treatment with special emphasis on phloem retranslocation and ion leaching. J. Exp. Bot. 51, (2000), 1721-1732.
- Maas E. V et Poss J.A., 1989.** Salt sensitivity of wheat at different growth stages. Irrig. Sci. pp29-40.
- Mace Tony, Mace Suzanne.** Cactées et succulentes. Hachette livre, 2003, p.12-20.
- Maillard J., 2001.** Le point sur l'Irrigation et la salinité des sols en zone sahélienne. Risques et recommandations. Handicap International. Novembre 2001, 34 p.
- Mandouri, T. 2000.** Hydromasse et biomasse des *Opuntia*. Cactus: (*Opuntia* à fruits comestibles). Actes de la journée nationale sur la culture du cactus. El Kelaa des Sraghna. Maroc.
- Marschner, H., 1995.** Saline soils, Mineral Nutrition of Higher Plants, 2nd ed. Academic Press, San Diego, CA
- Mermoud A. 2006.** cours de physique du sol : maitrise de la salinité des sols. Ecole polytechnique fédérale de lausanne, 23 p.
- Mohamed yassen Y. ; Barringer S.A.; Splittstoesser W.E.J (1996).** Arid. Enviro. 1996, 32(3), 347-353.
- Mohsen, A.A. Ebrahim, M.K.H. Ghoraba, W.F.S.** Response of salt-stressed *Vicia faba* plant to application of ascorbic acid on the growth and some metabolites. Iranian J. of Plant Physiol. 4 (2), (2013), 957-976.
- Monneveux, P et This D, 1997.** La génétique face aux problèmes de la tolérance des plantes cultivées à la sécheresse: Espoirs et difficultés. pp.29-3. Sciences et changements planétaires/Sécheresse 8 (1), 29-37.
- Monneveux, P. and Nemmar, M.** 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.): Étude de l'accumulation de la proline au cours du cycle de développement. Agronomie 6, (1986), 583-590.

- Mulas et Mulas, 2004.** potentialités d'utilisation stratégique des plants des genres *Artiplex* et *Opuntia* dans la lutte contre la désertification, Short and medium – term priority environmental action programme (SMAP), Université des études de Sassari, groupe de la recherche sur la désertification (Italie), 112p.
- Munns, R. 2002.** Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environ.* 25(2) : 239–250.
- Murillo-Amador, B. Cortes-Avila, A. Troyo-Diequez, E. Nieto-Garibay A. and Jones H.G.** Effects of NaCl salinity on growth and production of young cladodes of *Opuntia ficus-indica* L. *J. Agron. Crop Sci.* 187, (2001), 269-279.
- Navarro J.M., Garrido C., flores p. & Martínez V., 2010.** The effect of salinity on yield and fruit quality of pepper grown in perlite. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 8, 142-150.
- Ndour, P. et Danthu, P., 2000.** effet des contraintes hydrique et saline sur la germination de quelques acacias africain .projet national de semences forestières du sénégal. 11p.
- Neffar, S, 2012.** "l'étude de l'effet de l'âge de plantations de figuier de barbarie (*Opuntia ficus indica* L. Miller) sur la variation des ressources naturelles(sol et végétation) des steppes algériennes de l'Est cas de souk – ahras et Tébessa". ,thèse de doctorat en biologie végétale, université de Badji Mokhtare . Annaba. PP236.
- Nefzaoui A, Ben Salem H.** *Opuntia*: A strategic fodder and efficient tool to combat desertification in the WANA region. *Cactus Net Newslett*; 2000; 2–24
- Nobel, P.S.** Remarkable agaves and cacti. Oxford University Press, New York, (1994), 166p.
- Noble, 1995 Nobel PS. 1995.** Environmental biology. In: Barbera G, Inglese P, Pimienta-Barrios E (eds) *Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear*. FAO Plant Production and Protection 132:36–48.
- Orwa, C.; Mutua, A.; Kindt, R.; Jamnadass, R. & Simons, A. 2009.** Agroforestry Database: a tree reference and selection guide version 4.0 <http://www.worldagroforestry.org/af/treedb/>
- Ould Babana MB. , 1999** Utilisation de quelques marqueurs physiologiques, biochimiques et chimiques (équilibre ionique) dans l'étude de la tolérance à la salinité chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) Thèse Magister, Univ. Annaba, 104p.
- Parent c et al ., 2008.** Formes réactives de l'oxygène, stress et mort cellulaire chez les plantes. *C. R. Biologies* pp 255-261. polytechnique fédérale de Lausanne, 23 p.

- Piédallu A.** Le figuier de barbarie sans épines (*Opuntia ficus-indica* Miller var. *Inermis* Weber) en Algérie, 1990, 128-145 pp.
- Pimienta-Brrrios E.** (1993). *Ciencia*, 1993,44(3) ,339-350.
- Poupon. J.E.** «Cactus et ressources fourragères», Note technique. Note technique N° 2. Projet PNUD/FAO MOR/73/016, Amélioration et aménagement des parcours forestiers. Ministère de l’Agriculture et de la Réforme Agraire - Maroc. 1975, p.12
- Prescott W.H., 1843.** *La conquista del Messico*. Einaudi, Torino.
- Quarrie S.A. ,1980** Genotypic differences in leaf water potential, abscissic acid and proline concentrations in spring wheat during drought stress. *Ann. Bot.*, 46: 383-4.
- Rahnama H et Ebrahimzadeh H., 2005.** The effect of NaCl on antioxidant enzyme activities in potato seedling. *Biol Plant*.pp93-97.
- Rasanem L. ; 2002.** Biotic and abiotic factors influencing the development of N₂- fixating symbioses between *Rhizobium* and the woody legumes acacia. These de doctorat de l’ Université de Helsinki. Finland oldroyd, 220pp
- Rebmenm. J.P et Pinkava. D.J.** «*Opuntia* cacti of North America—an overview Cactus d’*Opuntia* de l’Amérique du Nord», *Floride Entomologiste* 84 (4). Décembre 2001, pp 474-483.
- Reddy et al., 2004.** Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *J Plant Physiol* p161-1189-1202.
- Rodriguez, H.G. Roberts, J.K.M. Jordan, W.R. Drew, M.C.** Growth, water relations, and accumulation of organic and inorganic solutes in roots of maize seedlings during salt stress. *Plant Physiol*. 113, (1997), 881-893.
- Saenz C. (2002).** *Acla horticultural*, 2002, 581,253-263.
- Sannada Y., Ueda H., Kuribayashi K., Hayashi F., Tamai N. & Wada K. (1995).** Novel light-dark change of proline levels in halophyte (*Mesembryanthemum crystallinum* L.) and glycophytes (*Hordeum vulgare* L & *Triticum aestivum* L.) leaves and roots under salt stress. *Plant Cell Physiol*. 36: 965-970. Rley leaves, *Plant Physiol*. 72 (1983) 664– 667.
- Schweizer M.** *Dr nopal, le médecin de bon dieu*, Clamecy ; PARIS(France), Imprimerie Laballery, 1997, p15.
- Sharma (M. L.), 1973.** Simulation of drought and its effect on germination of five Pasture species. *Agro. J.*, 65: 982-987.
- Silva-Ortega, C.O. Ochoa-Alfaro, A.E. Reyes-Aguero, J.A. Aguado-Santacruz, G.A. and Jimenez-Bremont, J.F.** Salt stress increases the expression of p5cs gene and induces proline accumulation in cactus pear. *Plant Physiol. Biochem*. 46(1), (2008), 82-92.

- Silverman, F. P. Young, D. R. and Nobel, P. S.** Effects of applied NaCl on *Opuntia humifusall*. *Physiol. Plant.* 42, (1988), 343-348.
- Sivarama-Krishnan, S. Pattel, V. Flower, G. and Paleg, LG.** Proline accumulation and nitrate reductase activity in contrasting sorghum lines during mid-season drought stress. *Plant Physiol.*, 74, (1988), p.418-426.
- Smirnoff, N. (1993).** The Role of Active Oxygen in the Response of Plants to Water Deficit and Desiccation. *New Phytologist*, 125, 27-58.
- Snoussi et halitim., 1998.** Snoussi SA, Halitim A. Valorisation des eaux salines pour la nutrition minérale des plantes cultivées. Cas de la tomate et du haricot. *Étude et Gestion des Sols* 1998 ; 5 : 289-98.
- Song Y, et al. (2005).** Tree decomposition based fast search of RNA structures including pseudoknots in genomes. *Proc IEEE Comput Syst Bioinform Conf* 223-34
- Sudhakar et al.** *plant science* 161 (2001) 613-619.
- Sudzuki. H.F.** «Anatomy and morphology», In: Barbera. G, Inglese. P, Pimienta. B.E et Arias. J.E. de J, (eds.), *Agro-ecology, cultivation and use of cactuspear*», FAO. *Plant production and production paper* 132, Rome Italy, 1995, pp 28-35.
- Temagoult A,** Caractérisation et Transformation de la Figue de Barbarie (*Opuntia Ficus Indica L.*), Elaboration d'une Confiture et d'une Gelée Extra. MEMOIRE de magister. *Génie des Procédés Alimentaires*.2017.117p.
- Tester M. et davenport R. (2003).** Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. *Ann. Bot.* 91: 305-340.
- Troll W., Lindsley J., 1955.** A photometric method for the determination of proline. *The Journal of Biochemistry*, 215: 655-660
- Udomchalothorn, T. Maneeprasobsuk, S. Bangyeekhun, E. Boon-Long, P. and Chadchawan, S.,** -The role of the bifunctional enzyme, fructose-6-phosphate 2-kinase/fructose 2, bisphosphatase, in carbon partitioning during salt stress and salt tolerance in rice (*Oryza sativa L.*)*Plant Sci.*176, (2009), 334-341.
- Vernon L. P., Seely G. R., 1966.** - The chlorophylls. Academic Press, New York, 79-80.
- Walali. L** «Bultten de liaison du Programme National de transfert de technologie (PNTTA)», Institut agronomique et vétérinaire Hassan II, Rabat (Maroc), N°35, 1998, pp5-10.
- Walali. L.** «Quelques espèces fruitières d'interet secondaire cultivées au Maroc», In : Llær. G, Aksoy. U et Mars. M, (eds), «Culture sous utilisées dans la régionb

méditerranéenne», Zaragoza, CIHEAM-IAMZ (Cahier option mediterraneene, 4. 13), Zaragoza (Spain), 1995, pp 47-62.

Wallace RS, Giles AC. Evolution and systematic. *Biology and Uses*, P.S.Nobel Ed, 1997, 1-21 pp.

Yazici I, Türkan I, Sekmen AH, Demiral T. Salinity tolerance of purslane (*Portulaca oleraceae* L.) is achieved by enhanced antioxidative system, lower level of lipid peroxidation and proline accumulation. *Environ. Exp. Bot.* 2007; 61: 49-57.

Yeo A., 1998. Molecular biology of salt tolerance in the context of wholeplantphysiology. *Journal of Experimental Botany*.pp915-929.

ANNEXE

Tableau 1 : Analyse de la variance « poids frais des racines (g) »

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	1192,51	47	25,37				
VAR.FACTEUR 1	60,62	3	20,21	14,34	0,00001		
VAR.FACTEUR 2	972,34	3	324,11	230,07	0		
VAR.INTER F1*2	114,46	9	12,72	9,03	0		
VAR.RESIDUELLE 1	45,08	32	1,41			1,19	25,38%

Tableau 2 : Analyse de la variance « longueur de racine la plus longue »

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	141470,1	47	3010				
VAR.FACTEUR 1	7111,41	3	2370,47	7,47	0,00068		
VAR.FACTEUR 2	93385,25	3	31128,42	98,15	0		
VAR.INTER F1*2	30824,56	9	3424,95	10,8	0		
VAR.RESIDUELLE 1	10148,86	32	317,15			17,81	17,87%

Tableau 3: Analyse de la variance « teneur en proline au niveau des racines »

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	16819,67	47	357,865				
VAR.FACTEUR 1	11723,49	3	3907,83	18035,46	0		
VAR.FACTEUR 2	4448,377	3	1482,792	6843,4	0		
VAR.INTER F1*2	640,865	9	71,207	328,637	0		
VAR.RESIDUELLE 1	6,934	32	0,217			0,465	2,04%

Tableau 4: Analyse de la variance « teneur en proline au niveau des cladodes »

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	14765,1	47	314,151				
VAR.FACTEUR 1	10929,31	3	3643,105	25839,23	0		
VAR.FACTEUR 2	3303,9	3	1101,3	7811,126	0		
VAR.INTER F1*2	527,373	9	58,597	415,608	0		
VAR.RESIDUELLE 1	4,512	32	0,141			0,375	1,48%

Tableau 5 : Analyse de la variance »teneur en sucres en sucres solubles totales au niveau des racines »

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	301325,2	47	6411,175				
VAR.FACTEUR 1	101019,2	3	33673,05	14748,16	0		
VAR.FACTEUR 2	132520,6	3	44173,52	19347,17	0		
VAR.INTER F1*2	67712,44	9	7523,604	3295,197	0		
VAR.RESIDUELLE 1	73,063	32	2,283			1,511	2,12%

Tableau 6 : Analyse de la variance »teneur en sucres solubles totales au niveau des cladodes »

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	14928,27	47	317,623				
VAR.FACTEUR 1	738,47	3	246,157	278,659	0		
VAR.FACTEUR 2	9058,611	3	3019,537	3418,234	0		
VAR.INTER F1*2	5102,923	9	566,992	641,856	0		
VAR.RESIDUELLE 1	28,268	32	0,883			0,94	2,41%

Tableau 7 : Analyse de la variance « teneur en chlorophylle a »

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	0,04	47	0				
VAR.FACTEUR 1	0,02	3	0,01	13,49	0,00001		
VAR.FACTEUR 2	0	3	0	1,85	0,15728		
VAR.INTER F1*2	0	9	0	1,03	0,44104		
VAR.RESIDUELLE 1	0,02	32	0			0,02	29,93%

Tableau 8 : Analyse de la variance « teneur en chlorophylle b»

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	0,04	47	0				
VAR.FACTEUR 1	0,02	3	0,01	21,46	0		
VAR.FACTEUR 2	0,01	3	0	5,71	0,00311		
VAR.INTER F1*2	0	9	0	1,71	0,12699		
VAR.RESIDUELLE 1	0,01	32	0			0,02	46,88%

Tableau 9 : Analyse de la variance « teneur en chlorophylle totale»

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	0,12	47	0				
VAR.FACTEUR 1	0,07	3	0,02	29,72	0		
VAR.FACTEUR 2	0,01	3	0	6,39	0,0017		
VAR.INTER F1*2	0,01	9	0	1,48	0,19728		
VAR.RESIDUELLE 1	0,02	32	0			0,03	24,89%