

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

FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT D'AGRONOMIE
N° 67/DSA/2022



DOMAINE : SNV
FILIERE : Sciences agronomiques
OPTION : Production vegetale

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Par : DOUKKA Chaima
GUETOUCHE Aya
HAMIDAT Loubna

Intitulé

Caractérisation agro-morphologique d'une collection du
figuier de barbarie en fonction du stress salin

Soutenu devant le jury composé de:

M ^r TIAIBA A.	Université de M'sila	MCB	Président
M ^r HADJ KOUIDER B.	Université de M'sila	MCA	Promoteur
M ^{me} LALLOUCHE B.	Université de M'sila	MCA	Co-Promoteur
M ^r TORCHIT N.	Université de M'sila	MAA	Examineur

Année universitaire :2021 /2022

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 tenons à exprimer notre plus profonde gratitude et appréciation au promoteur de ce mémoire : **M^r HADJ KOUIDER B., MCA.,** et au Co-promoteur **M^{me} LALLOUCHE B., MCA.,** au département d'agronomie, Université Mohamed Boudiaf de M'sila pour avoir acceptés de diriger ce travail, pour leur patience, encouragements, orientations et leurs conseils précieux.

Nous tenons à remercier chaleureusement les membres du jury : **M^r TIAIBA A.,** enseignant chercheur,, au département des Sciences Agronomiques, Université Med. Boudiaf de M'sila et **M^r TORCIT N.,** enseignant chercheur, au département des Sciences Agronomiques, Université Med. Boudiaf de M'sila de nous avoir fait l'honneur de présider le jury de ce mémoire, de nous consacrer du temps et de porter leur jugement expert sur ce modeste travail.

Nous adressons aussi nos remerciements à l'ingénieur de la serre monsieur **AROUSSE B.** pour son aide pratique et sa disponibilité durant notre préparation de ce travail

Nous remercions également l'équipe de laboratoire de département des sciences agronomiques, Université de Med. Boudiaf pour leur disponibilité, leur patience, et surtout leurs conseils qui nous ont aidés alimenter notre réflexion.

Nous souhaitons 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.

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail :

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

Merci Papa pour ta confiance.

A ma chère mère «Zoubida» la bijoue de ma vie, celle qui m'a toujours présenté et supporté dans toutes mes études.

Merci Mama pour l'amour et le soutien que tu m'as apportés.

A mon fiancé «Housseem» qui m'a beaucoup aidé et supporté dans ce Travail.

Merci pour tous.

A mes frères : « Saif, Mohamed, Taib et Mourad ».

A mes sœurs : « Asma, Ratiba, Nadia et Fatima ».

A la femme de mon frère : «Sara».

Et toutes leurs enfants.

A toute la famille : «Doukka» grande et petite.

Sans oublier la famille de mon fiancé «Les parents Mohamed et Nabila, frère Sohayb et sœurs Wissem et Douaa ».

Aussi ma chère amie «Aya».

A tous mes professeurs et mes amies en 2 ème année master PDV

Promotion 2021-2022.

Doukka chaima.

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail :

*A la personne le 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 « Abdelkader».

*A celle qui le 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 chère mère «Fatoum»

A mes frères : « Elhadj et Houssine».

A ma sœur : « Amina».

A les fiancés de mes frères : « Oum elkhire et marwa»

Et toute la famille« Guettouche» grande et petite.

Sans oublier ma chère amie : «Chaima».

Et toutes mes amies en 2ème année master promotion 2021-2022

Guettouche Aya

DEDICACES

*Tout d'abord, je remercie Dieu Tout-Puissant de m'avoir donné du courage,
de la patience et de la persévérance pour atteindre mes objectifs.*

A cette occasion, je dédie ce travail

*A mon père : « Ismail » qui a donné son cœur, et tout ce qu'il a eu pour la
réussite de ses enfants dans leur vie.*

*A ma mère : « Laila » La meilleure de toutes les mères, qui est pour moi un
merveilleux exemple de sacrifice, de courage et de patience.*

A mes frères : « Nacre et I lyase ».

A mes sœurs : « Linda, Amira, Sara, Nour et Nada ».

Et à tous les membres de ma grande famille : « Hamidat »

*Et sans oublier tous mes professeurs, mes amies et collègues», et tous ceux
qui m'ont aidé à l'Université de Mohammad Boudaif M'sila. En particulier*

Mon partenaire dans ce travail.

Hamidat Loubna.

ملخص

لتحديد تأثير الملوحة على تحمل نوع من نبات الصبارو المتمثل في التين الشوكي ولتحديد عتبة المقاومة لهذا النوع، قمنا بدراسة استجابة نوع ل من التين الشوكي من منطقة سيدي هجرس (المسيلة) ، ضد الإجهاد الملحي. تم تطبيق ستة تراكيز: (0) ، 100 ملم ، 200 ملم ، 300 ملم ، 400 ملم ، 600 مل مول من كلوريد الصوديوم لمدة 130 يوماً. تم تحليل قدرة التجذير (وجود أو عدم وجود جذور، عدد الجذور لكل ظلف، طول أطول جذر...). أظهرت النتائج أن إجهاد الملح المطبق على الأظلاف المدروسة قد أظهر تأثيراً سلبياً على معظم الصفات المورفولوجية المدروسة.

الكلمات المفتاحية: الصبار، الملوحة، صنف، التين الشوكي، الإجهاد الملحي، التحمل.

RESUME

Pour déterminer l'effet de la salinité sur la tolérance d'une espèce (d'Opuntia).et déterminer le seuil de résistance de cette espèce, nous avons étudié la réponse d'un écotype de figuier de barbarie provenant de la région de (Sidi Hadjres (M'sila),) vis-à-vis le stress salin.

Six concentrations ont été appliquées : Témoin (0), 100 mM, 200 mM, 300 mM, 400 mM, 600 mM de NaCl pendant une période de 130 jours. La capacité d'enracinement a été analysée (présence ou absence de racines, nombre de racines par raquette, longueur de racine la plus longue). Les résultats ont montré que le stress salin appliqué sur l'opuntia ficus indica montre un effet dépressif sur la plupart des paramètres morphologiques étudiés.

Mots Clés : Opuntia, salinité, écotype, figuier de barbarie, stress salin, tolérance.

ABSTRACT

To determine the effect of salinity on the tolerance of a species of *Opuntia* and to determine the resistance threshold of this species, we studied the response of an ecotype of prickly pear from the region of Sidi Hadjras (M'sila), against salt stress. Six concentrations were applied: Control (0), 100 mM, 200 mM, 300 mM, 400 mM, 600 mM NaCl, for a period of 130 days. Rooting capacity was analyzed (presence or absence of roots, number of roots per racket, longest root length). The results showed that the salt stress applied to the *Opuntia ficus indica* show a depressive effect on most of the morphological parameters studied.

Keywords: *Opuntia*, salinity, ecotype, prickly pear, salt stress, tolerance

TABLE DE MATIERE

RAMERCIEMENTS

RESUME

TABLE DE MATIERE

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

LISTE D'ABRIVIATION

INTRODUCTION

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LE GENRE OPUNTIA..... 16

1.1. Généralité 16

1.2 Aire de répartition 16

1.3. Biologie de la plante..... 19

1.4. Caractéristique morphologique..... 19

1.5 Systématique de l'espèce 22

1.6 Réactions biochimiques d'Opuntia vis-à-vis les conditions d'aridités 23

1.7 Conduites et techniques culturales..... 24

1.8. Utilisation du figuier de barbarie 25

1.9 Importance économique..... 28

1.10 Maladies et parasites des Opuntia..... 28

CHAPITRE II : LA SALINITE ET LE STRESS SALIN..... 30

2.1. La salinité..... 30

2.2. Stress salin..... 32

2.2.1 Effets du stress salin sur la morphologie et la physiologie des plantes 34

2.2.2 Effet du stress salin sur la germination des graines..... 38

2.2.3 Mécanisme d'adaptation des plantes au stress salin 40

CHAPITRE III : MATÉRIELS ET MÉTHODES..... 43

3.1. Objectif..... 43

3.2. Matériel végétal..... 43

3.3. Lieu de l'expérimentation..... 44

3.4. Dispositif expérimental..... 44

3.5. Protocole expérimentale..... 45

3.6. Les paramètres étudiés 46

3.7. Analyse statistique..... 47

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DUSCUSSION..... 49

4.1. Analyse de l'effet du stress salin sur la capacité d'enracinement et la croissance et le

développement des jeunes raquettes.....	49
4.2. Analyse de l'effet du stress salin sur la capacité d'enracinement	52
4.2.1. Effet du stress salin sur le nombre de racine	52
4.2.2. Effet du stress salin sur la longueur de racine la plus longue.....	51
4.2.3. Effet du stress salin sur le nombre d'aréole par raquette.....	55
4.2.4. Effet du stress salin sur le poids sèche des racines	56
4.2.5. Effet du stress salin sur le poids frais des racines.....	58
CONCLUSION	60
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	
ANNEXE	

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1	Figuier de barbarie	20
Figure 1.2	Coupe longitudinale d'une fleur d' <i>Opuntia ficus indica</i>	21
Figure 1.3	Les différentes formes des fruits d' <i>Opuntia</i>	22
Figure 1.4	Fixation du sable par l' <i>Opuntia ficus indica</i> dans la région de Khoubna (Tébessa).....	26
Figure 2.1	Stress osmotique et ionique.....	34
Figure 2.2	Illustration schématique du changement de potentiel hydrique du milieu extérieur sur la cellule végétale.....	35
Figure 2.3	Réponse des plantes au stress salin.....	37
Figure 3.1	Sites de prélèvements du matériel végétal.....	43
Figure 3.2	Dispositif expérimental adopté.....	44
Figure 3.3	Plantation des boutures de l' <i>Opuntia ficus indica</i> Mill f. <i>inermis</i> dans des conteneurs en sachets.....	46
Figure 3.4	Différents partie du matériel végétale analysée.....	48
Figure 4.1	Aspect morphologique des plants d' <i>Opuntia ficus indica</i> Mill f. <i>inermis</i> à la fin de l'expérimentation.....	49
Figure 4.2	Aspect de la partie racinaire et aérienne après 130 jours sous différentes doses de NaCl.....	50
Figure 4.3	Effet du stress salin sur la capacité d'enracinement d' <i>Opuntia ficus indica</i> Mill f. <i>inermis</i>	51
Figure 4.4	Effet du stress salin sur le nombre de racine.	53
Figure 4.5	Effet du stress salin sur la longueur de racine la plus longue.....	55
Figure 4.6	Effet du stress salin sur le nombre d'aréole par raquette.....	56
Figure 4.7	Effet du stress salin sur le poids sèche des racines.....	58
Figure 4.8	Effet du stress salin sur le poids frais des racines.....	59

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1	Plantation de l'Opuntia en l'Algérie	18
Tableau 1.2	Composition de la figue de barbarie <i>Opuntia ficus indica</i>	26
Tableau 1.3	Teneur en vitamines des différentes parties de la plante de cactus.....	27
Tableau 3.1	Composition de la solution saline.....	46
Tableau 4.1	Effet du stress salin sur le nombre de racine.....	52
Tableau 4.2	Effet du stress salin sur la longueur de racine la plus longue.....	54
Tableau 4.3	Effet du stress salin sur le nombre d'aréole par raquette.....	56
Tableau 4.4	Effet du stress salin sur le poids sèche des racines.....	57
Tableau 4.5	Effet du stress salin sur le poids frais des racines.....	58

LISTE DES ABREVIATIONS

%: un partie par cent.

‰: un partie par milliers.

ADN: Acide désoxyribo Nucléique.

ARN:Acide ribo Nucléique.

C : concentration.

C° : degré Celsius.

C0 : concentration à 0 g/5l de NaCl (0mM).

C1 : concentration à 29.25 g/5l de NaCl (100mM).

C2 : concentration à 58.5 g/5l de NaCl (200mM).

C3 : concentration à 87.75 g/5l de NaCl (300mM).

C4: concentration à 117 g/5l de NaCl (400mM).

C5: concentration à 175 g/5l de NaCl (600mM).

CAM : Crasulcean Acide métabolique.

Cm: centimètre

CO2: dioxyde de carbon.

dS.m-1 :decisiemen/metre.

g: gramme.

H2 SO4: Acide sulfurique.

H2O2: peroxyde d'hydrogène.

K+: ion de potassium.

Kcl: chlore de potassium.

mM : millimole.

mm : millimètre.

Na+: ion de sodium.

Nacl:chloride de sodium.

NaSO4: sulfate de sodium.

O2-: superoxyde

PEP:phodphoénol-pyruvate.

pH : potentiel hydrogène.

Psu: practical salinity unit.

ROS: reactive oxygen species.

T°: température.

INTRODUCTION

La salinisation des sols devient un problème agricole majeur dans le monde entier, principalement dans les régions arides et semi-arides et l'une des principaux facteurs abiotiques qui affecte gravement la production agricole. En effet, de nombreux travaux scientifiques montrent que la salinité affecte presque tous les aspects du développement des plantes, notamment la croissance végétative et le développement reproductif (**LALLOUCHE et al., 2017**).

Les zones arides et semi-arides couvrent une grande partie des pays de la frange méridionale du pourtour méditerranéen. Dans ces régions, la disponibilité des eaux, leur salinité et celle des sols sont parmi les principaux facteurs limitant la productivité végétale (**ZID et al., 1991**).

Face à ce stress salin, de nombreuses stratégies telles que l'introduction des plantes tolérantes est l'une des techniques utilisées pour récupérer les sols marginaux. Les espèces du genre *Opuntia* notamment l'*Opuntia ficus indica* L. surnommée figue de barbarie est une espèce plante vivace, originaire des zones arides et semi-arides du Mexique, elle est subdivisée en onze sous-genres (**HADJ KOUIDER, 2008**), le sous genre le plus important en Algérie est le sous genre *Platy opuntia*. (**LALLOUCHE, 2008**). Ces arbustes sont extrêmement rustiques et capables d'être cultivées dans des conditions extrêmes de salinité et d'aridité (**MULAS et al., 2004**), et constituent une réserve fourragère pour les périodes de disettes (**KENNEY, 1997**).

En Algérie, différentes espèces d'*Opuntia* sont répertoriées et font partie intégrante du paysage agricole depuis plusieurs siècles dans les zones arides et semi-arides (**HAD JKOUIDER et al., 2017**). Ces espèces prospèrent dans une large gamme de terres marginales caractérisées par la présence de sels, de fréquentes périodes de sécheresse et une faible fertilité des sols dans ces zones. En effet, plusieurs espèces d'*opuntia* contribuent à la stabilisation des sols et à la lutte efficace contre l'avancée du désert (**LALLOUCHE et al., 2017**).

Afin de comprendre les stratégies impliqués dans la tolérance du figuier de barbarie (*Opuntia ficus indica* Mill) à la salinité, nous avons étudié l'effet du stress salin sur une espèce d'*Opuntia*, dont l'objectif principal de notre étude est de préciser le seuil de tolérance à la salinité sur la croissance et le développement de jeune plants de cette espèce et son comportement vis-à-vis du stress salin tout en se basant sur des analyses d'ordre morphologiques.

Ce mémoire est structuré en deux parties distinctes :

La première partie est consacrée à une synthèse bibliographique concernant le thème de travail, elle est formée par deux chapitres :

Chapitre 1 : généralités sur le genre *Opuntia* ;

Chapitre 2 : la salinité et le stress salin

La deuxième partie est la partie expérimentale, elle est formée de deux chapitres aussi :

Chapitre 3 : Matériels et méthodes.

Chapitre 4 : Résultats et discussion.

Ce présent travail est achevé par une discussion et une conclusion générale.

CHAPITRE I
GENERALITES SUR LE GENRE OPUNTIA

1.1. Généralité

Le genre *Opuntia*, connu sous le nom de figuier de barbarie, ce genre regroupe plusieurs espèces de la famille des Cactaceae. Le genre *Opuntia*, comprend environ 11 sections et 180 espèces.

Le genre *Opuntia* est le plus important et le plus répandu de la famille des cactacées. Il comprend environ 300 espèces réparties en quatre sous-genres. L'*Opuntia ficus-indica*, plus connue sous le nom de figuier de barbarie (**HABIBI, 2004**).

Le nom *Opuntia* ou *Oponce* est dérivé du mot latin *Opuntius* de la ville grecque d'Oponthe (**LAROUSSE, 2007**). Selon les botanistes, toutes les cactacées seraient originaires d'Amérique (Mexique et Sud des Etats-Unis) (**SHWEIZER, 1997**). Elles ont été introduites en Andalousie à la fin du 15ème siècle par Christophe Colomb après sa première expédition (**FOURNIER, 1954**). Le genre *Opuntia* est introduit au 16ème siècle au Nord et au Sud de l'Afrique et tout au long du bassin méditerranéen (**MONJAUZE, 1966 et ARABA, 2000**).

1.2 Aire de répartition

1.2.1 Répartition dans le monde

Toutes les cactacées sont originaires des plateaux du centre et du nord Mexicains. Caractérisées par un climat sec et chaud. La grande adaptation du figuier de barbarie dans le bassin méditerranéen amène beaucoup de gens à le considérer comme une espèce autochtone, il s'est également adapté à d'autres pays comme l'Afrique du sud, le sud-ouest des Etats-Unis d'Amérique, plusieurs pays de l'Amérique latine ainsi que d'autres aires géographiques. Cette plante succulente s'est

naturalisée un peu partout et prolifère aujourd'hui sur les terrains arides, secs et pierreux des cinq continents. **(RAI ABDELWAHAB 2017).**

Il reste impossible de lui attribuer un lieu d'origine bien défini car on le rencontre dans toutes les régions chaudes et tempérées des deux amériques. Des restes de semences de fruits et quelques morceaux de Nopal (nom local du figuier de barbarie) ont été découverts au Mexique, depuis 700 ans, ce qui prouve que l'homme le connaît déjà à cette époque **(SEJURO, 1990).**

L'Opuntia se trouve actuellement dans tous les continents, il existe, généralement dans les régions à climat tropicale et sub-tropicale, à faible pluviométrie.

Toutefois sa grande adaptation à la sécheresse a été expliquée par sa capacité d'emmagasinement des réserves d'eau et sa capacité de réduction de la transpiration, ceci explique sa répartition dans le monde.

1.2.2 Répartition en Algérie :

Le figuier de barbarie est introduit en Afrique du Nord vers le 16ème siècle. **(HABIBI, 2004).**

En Algérie, le figuier de barbarie est appelé aussi "Carmousse N'sara", ou "Hendi", il est largement cultivé sur le littoral algérien, allant de l'est jusqu'à l'ouest. Dans la wilaya de Tipaza, il est utilisé comme des haies vives, délimitant les parcelles cultivées, ainsi que pour la protection des maisons, tout en profitant de ses fruits consommables pour la consommation locale.

Selon **KADIK (1974)**, bien que l'opuntia soit très connu dans le Nord. Aucun effort sérieux n'a été fait par les services publics jusqu'en 1946, date à laquelle ont commencé les premières réalisations dans les périmètres défenses et restaurations des sols dans la région de Nedromah (Oranie). En 1961 des collections ont été réalisées dans la région rurale Zerbia (wilaya de Tizi Ouzou), une autre a été installée à Chebli ainsi qu'à El Mergueb (commune de Sidi Hdjeres) à une altitude de 640 mètres, et 250 mm/an de précipitation. D'autres places d'essais ont été installées à Benhar, kef Lafaa à une altitude de 720 mètres, sur le versant à pente faible, et dont le sol à une

carapace calcaire, la pluviométrie est de 250 mm/an dans la steppe. La culture de l'Opuntia se concentre dans les villes côtières, et dans certaines villes internes entre outre la wilaya de Souk Ahras (**HCDS, 2005**). (Tableau 1.1).

Wilaya	1993 / 94	1994/95	1995/96	1996/97	Total wilaya
Tébessa	275 ha	480 ha	1041 ha	2100 ha	3896 ha
Souk Ahras	837 ha	310 ha	549 ha	2200 ha	3896 ha
TOTAL	1112 ha	790 ha	1590 ha	4300 ha	7792 ha
Nombre de fellahs	560	540	914	1451	3465

Tableau 1.1 : Plantation de l'Opuntia en l'Algérie (HCDS, 2005)

D'après **HADJ KOUIDER et LALLOUCHE (2022)**, la culture de l'opuntia en Algérie passée par quatre périodes distincts :

Période 01 (1940-1990) : Cette période est caractérisée par l'introduction et la plantation des plusieurs espèces dans différents périmètres, pour des utilisations écologiques, sous l'encadrement de la FAO, INRF, HCDS.

Période 02 (1991-2007) : caractérisée par l'intensification de la plantation de figuier de barbarie et la création des exploitations privées sous la subvention de l'ETAT à travers de l'HCDS, pour des utilisations alimentaires et pastorale.

Période 03 (2008-2014) : caractérisée par la dégradation de plusieurs plantations suite aux plusieurs facteurs.

En 2004, des pertes très importants ont été enregistrées à cause de la période de neige suivie par une période inhabituelle de gelée débutant en novembre 2004 et qui s'est prolongé jusqu' à février 2005.

A titre d'exemple les pertes sont à l'ordre de 5810,77 ha dans la wilaya de Médéa Et 1825,35 ha dans la wilaya de M'sila.

Période 04 à partir de 2015 : Caractérisée par la relance de la culture du figuier de barbarie et le développement de l'activité de transformation.

Au cours de cette période une délégation Mexicaine a effectué en 2017 une visite au siège de l'Institut national de la recherche agronomique d'Algérie (INRAA), à sa tête l'ambassadeur du Mexique, accompagné de deux experts en présence du représentant de la FAO en Algérie. Cette rencontre s'inscrit, selon l'INRAA, dans le cadre du développement et de la valorisation de l'Opuntia (Figue de Barbarie) en Algérie (**HADJ KOUIDER et LALLOUCHE, 2022**).

Les discussions ont portés sur les modalités de coopération entre les institutions du MADRP et le Mexique, pour un éventuel financement par la FAO d'un projet intégré, sur la base du concept-note réunissant l'INRAA, l'INRF, le HCDS et la DGF, où l'INRAA sera chef projet (**HADJ KOUIDER et LALLOUCHE, 2022**).

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

1.3. Biologie de la plante

L'Opuntia se présente en générale sous des forme très variées, depuis le petit arbrisseau jusqu'à l'âge adulte de 5 m de haut avec un tronc épais, ligneux comprenant plusieurs raquettes (cladodes) riches en tissus aquifères.

1.4. Caractéristique morphologique

Le figuier de barbarie est une plante robuste qui peut mesurer jusqu'à 5 mètres de hauteur (Figure 1.1), avec un tronc épais et ligneux. Ses articles aplatis en forme de raquettes (cladodes) (Figure 1.1) 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 (Figure 1.1). Ses fruits sont des baies charnues ovoïdes ou piriformes pourvues d'épines (Figure 1.1). 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. **(HABIBI, 2004).**

Le bois de l'Opuntia résulte de l'épaississement de l'anastomose (Abouchement de deux vaisseaux) et de la cohérence des faisceaux. Ceci ne donne pas des fibres parallèles

Mais un treillage, il est peu utilisé, car on a un bois lacunaire criblé sans aucun intérêt **(KADIK, 1974).**

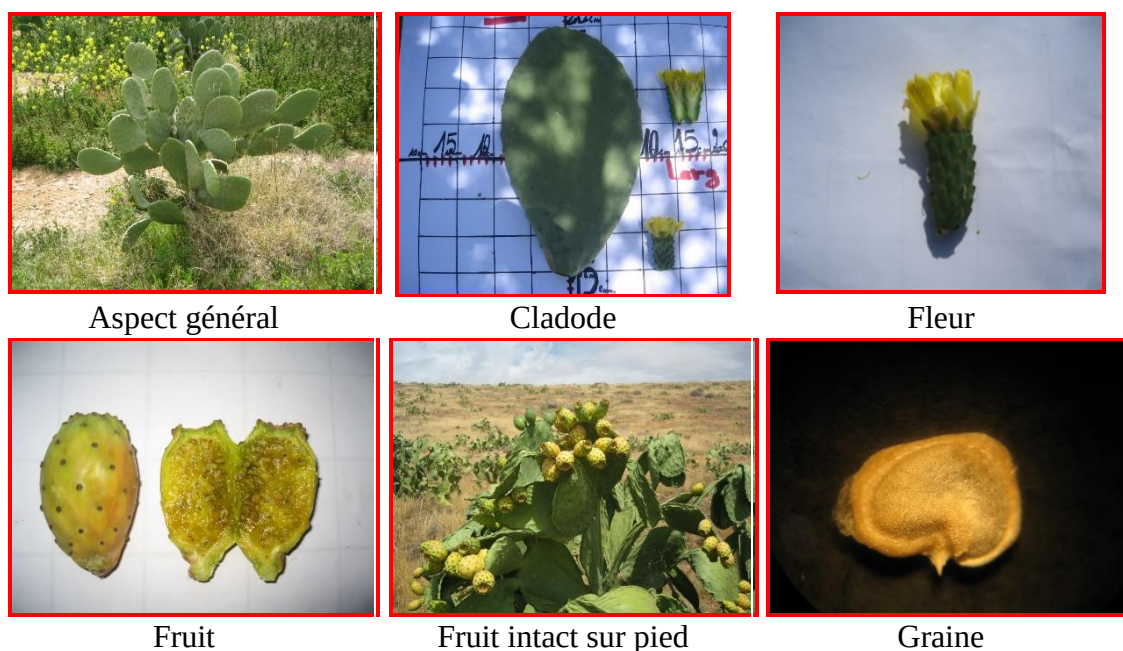


Figure 1.1 : Figuiers de barbarie (HADJ KOUIDER, 2008)

D'après NEFZAOUI et BEN SALEM (2000), l'Opuntia est caractérisé par des racines superficielles et charnues, en expansion horizontale, latérale et fasciculées.

Les cladodes sont des articulations charnues de formes et de couleurs variables **(BOSSARD, 1978)**. Les cladodes ayant une longueur de 30 à 50 cm et une largeur de 15 à 30 cm, les cladodes ne sont que des tiges aplaties **(KENNY, 1998)** (Figure 1.1). Le même auteur ajoute que les cladodes ont une grande capacité d'emmagasiner l'eau surtout aux niveaux des tissus parenchymateux, qui peuvent accumuler à eux seuls 82% de l'eau retenue par la plante.

Selon **SUDZUKI (1995)**, les épines sont présentes dans la première phase de croissance des cladodes et la plupart d'entre-elles tombent avec l'augmentation de l'âge et de la température.

Les fleurs se différencient en général sur les cladodes âgées d'un an, le plus souvent sur les aréoles situées au sommet de la cladode, ou sur la face la plus exposée au soleil. En principe, une seule fleur apparaît dans chaque aréole. Les jeunes fleurs portent des feuilles éphémères caractéristiques de l'espèce (**SUDZUKI, 1995**) (Figure 1.1 et Figure 1.2).

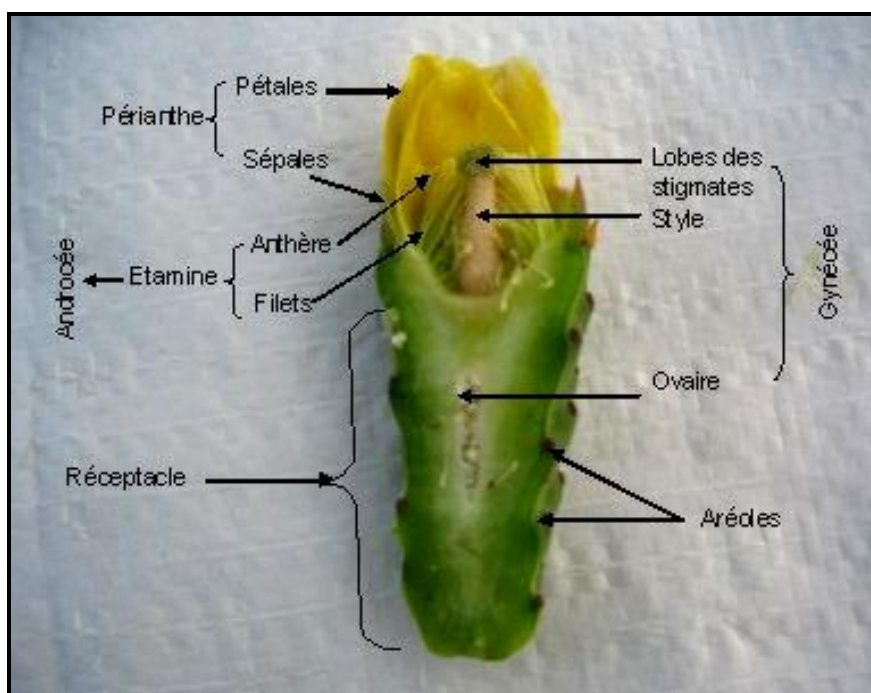


Figure 1.2 : Coupe longitudinale d'une fleur d'*Opuntia ficus indica*.

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**). Selon **REBOURS (1968)**, la taille des fruits est très variable, leur poids varie de 30 à 60 g (gramme) et peut atteindre 250 g (figure 1.2, figure 1.3).

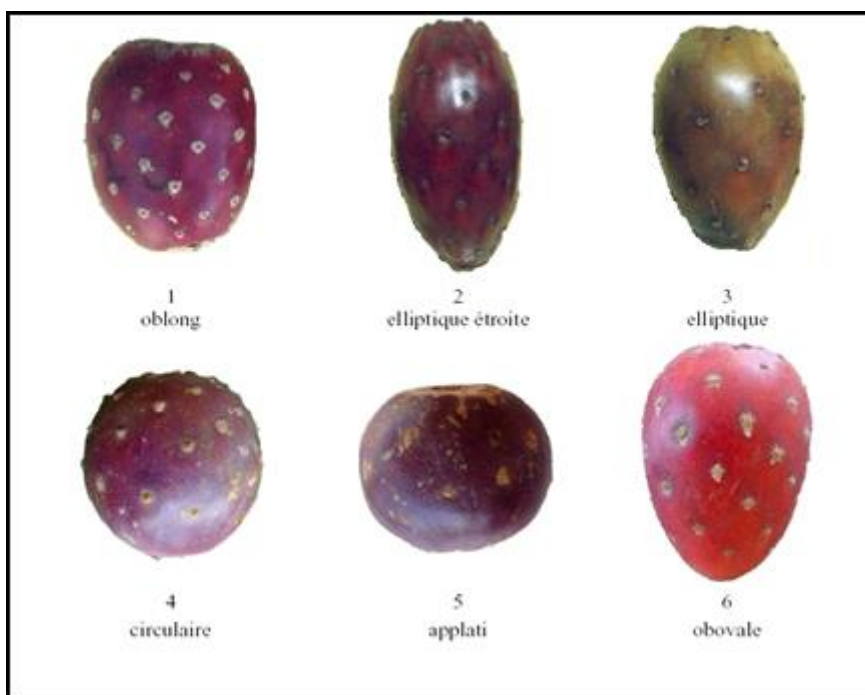


Figure 1.3 : Les différentes formes des fruits d'Opuntia (UPOV, 2004).

D'après **KHOURI (1970)**, les graines sont nombreuses, dures, osseuses et plates plus ou moins réniforme ou lenticulaires. Elles sont libres ou adhérentes à la pulpe, les graines de cactées sont de forme et de taille variables : plate discoïdales, arrondies ou bombées sur les côtés (**YOUSFI, 2000**).

1.5 Systématique de l'espèce :

1.5.1. Systématique :

Le genre *Opuntia* appartient à la famille de Cactaceae qui est des végétaux phanérogames Angiospermes, dicotylédones, dialypétales, caliciflores.

La systématique de figuier de barbarie est la suivante : (**HALMI, 2015**).

Règne : Plantae.

Classe : Magnoliopsida.

Ordre : Caryophyllales.

Famille : Cactaceae.

Genre : *Opuntia*.

Sous-Genre : *Platyopuntia*.

Espèce : *Opuntia ficus indica*.

1.5.2 Ecophysiologie et exigence écologique de la plante :

Les Opuntias sont des espèces très résistantes aux conditions pédoclimatiques défavorables telles que les hautes températures et les sols pauvres, elles peuvent se développer dans les régions arides, semi-arides et même les zones sahariennes grâce à leur structures morphologiques et physiologiques.

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).

1.6 Réactions biochimiques d'Opuntia vis-à-vis les conditions d'aridités

Toutes les plantes font l'essentiel de leurs échanges gazeux avec l'extérieur par l'intermédiaire de structures épidermiques particulières des feuilles ou des tiges : les stomates. Ces stomates peuvent régler leur ouverture laquelle permet l'entrée de CO₂ dans la plante selon un gradient. L'ennui c'est que l'ouverture des stomates permet aussi à l'eau de s'échapper de l'intérieur de la plante : à l'intérieur de la plante, il y a saturation en vapeur d'eau, à l'extérieur la pression partielle de vapeur d'eau est faible, on a donc un gradient très fort (LECLERC, 1999).

Le genre Opuntia a un mécanisme photosynthétique spécialisé connu sous le nom de métabolisme acide de crassulacean (CAM) (JUAREZ et PASSEEA, 2002).

1.6.1 La température :

Le figuier de Barbarie est cultivé dans les zones arides subtropicales avec des hivers doux (température moyenne de l'air > 10°C, des étés chauds, une gamme de précipitations annuelles de 100 à 600 mm et une saison sèche bien définie qui peut durer 2 à 5 mois. Il possède une grande adaptation aux conditions les plus hostiles (aridité du climat, salinité des sols, terrains de faible potentiel agricole). Son extension est surtout limitée par les basses températures hivernales, son seuil de tolérance étant

de -10°C. Dans les pays méditerranéens, *figus indica* peuvent résisté à des températures moins de -10°C. (YOUSSEF EL KHARRASSI ,2015)

1.6.2 Sols

Les sols que les cactus préfèrent sont des sols légers, limoneux sableux et caillouteux avec un pH modéré (5,1-6,7) et moins de 20% d'argile. Ces sols sont souvent carencés en matière organique (0,1-1,8%). Il peut également résister aux sols acides et salins avec moins de 70 moles de sel par mètre cube Sur sols gypseux et saumâtres à condition qu'ils drainent (YOUSSEF EL KHARRASSI ,2015).

1.6.3 Précipitations

Sur le plan écologique, les cactées peuvent être considérées comme des cultures tolérantes au changement climatique, permettant ainsi le développement de terres marginales stériles et sèches. Ils sont connus pour être tolérants à la sécheresse et adaptés aux conditions désertiques.

D'une manière générale, les Opuntias vivent sous un climat à pluviométrie allant de 200 mm jusqu'à 700 ou 1000 mm (YOUSFI, 2000). Le cactus inerme fourrager a été sélectionné et multiplié en Afrique de Sud sous une tranche pluviométrique allant de 150 à 300 mm/an (KADIK, 1974).

Dans la région de Sidi-Ifni au sud du Maroc, les plantations de cactus jouent un rôle écologique important car elles aident à lutter contre l'érosion et donc à protéger les sols. (YOUSSEF EL KHARRASSI ,2015).

1.7 Conduites et techniques culturales

Selon le HCDS (1998, 2000), les plantations sont réalisées selon plusieurs techniques :

Plantation à raquette unique.

Plantation à raquette double.

Plantation à trois raquettes.

Une densité maximale de 4000 à 5000 pieds/ ha est recommandée. Dans ce cas, un écartement de 4 à 5m entre les lignes pour les cultures non mécanisées serait convenable et 6 à 7m pour les cultures mécanisées afin de permettre le passage des engins. D'une manière générale l'écartement et la densité des plantations varient en fonction des conditions écologiques (climat, sol).

L'époque de plantation varie d'une région à une autre, on considère l'automne comme la meilleure saison de plantation dans les conditions de la Sardaigne au Sud de l'Italie, elle dépend aussi de la disponibilité du matériel végétal.

La cueillette doit être faite tôt le matin épais. La récolte des fruits est réalisée par un outil traditionnel appelé chicol (au Mexique), mais également par d'autres outils plus perfectionnés et récents.

Les rendements dépendent de la variété, l'âge des plants, la densité, les pluies, l'état des parcelles et les conditions climatiques. En Italie, le rendement à l'hectare dans les exploitations spécialisées dans la culture du figuier de barbarie varie de 12 à 30 T /ha. Les figues de barbarie sont disponibles sur les marchés européens à partir de Juillet-Août jusqu'à Décembre-Janvier (**KENNY, 1997**).

1.8. Utilisation du figuier de barbarie

Les cactacées jouent un rôle notable dans le développement de la vie humaine; ces plantes fournissent :

Des produits alimentaires, des clôtures impénétrables et défensives, du bois de chauffage, des fourrages permanents, le matériel nécessaire pour l'élevage de la cochenille, des produits phyto-pharmaceutiques.

Selon le **HCDS (2005)**, en Algérie la culture d'Opuntia dans les zones arides et semis arides, a permis de préserver les écosystèmes steppiques fragiles (figure 1.4). La plantation d'Opuntia dans la wilaya de Djelfa a permis :

- ☐ Une augmentation de la litière.
- ☐ Une augmentation de la matière organique.
- ☐ Une augmentation du recouvrement végétal.

- Une augmentation de la richesse floristique.



Figure 1.4 : Fixation du sable par l'*Opuntia ficus indica* dans la région de Khoubna (Tébessa) **(HADJ KOUIDER, 2018).**

1.8.1 Fruits

Les fruits de l'*Opuntia* peuvent être consommés en frais ou bouillis dans l'eau ou séchés pour être conservés et consommés durant la période hivernale **(NOBEL, 1995).**

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

Tableau 1.2 : Composition de la figue de barbarie *Opuntia ficus-indica* **(HABIBI, 2004).**

D'après **ARABA et al., (2000)**, les fruits d'Opuntia considérés comme une bonne source de vitamine C, avec un apport énergétique important, la teneur en sucre de la plupart des variétés est relativement élevée (12 à 17 %).

Vitamine (mg/100 g de tissu)	Pulpe	Graines	Peau	Raquette
Vitamine K1	53.2	52.5	109	-
Vitamine C	34-40	-	-	7-22
Vitamine B1	-	-	-	0.14
Vitamine B2	-	-	-	0.60
Vitamine B3	-	-	-	0.46
α -Tocophérol	84.9	56	1760	-
β -Tocophérol	12.6	12	222	-
γ -Tocophérol	7.9	33	174	-
σ -Tocophérol	422	5	26	-
Vitamine E totale	527.4	106	2182	-

Tableau 1.3 : Teneur en vitamines des différentes parties de la plante de cactus (*O. ficus indica*). **(YOUSSEF EL KHARRASSI ,2015)**

1.8.2. Raquettes

La valeur nutritive des Nopals est similaire à celle de la laitue et des épinards (**BOUJGHAGH et CHAJIA, 2001**). Selon le **HCDS (2005)**, en Algérie, dans la région de Tébessa, l'Opuntia fait l'objet d'une utilisation maraîchère appréciée par les populations rurales.

Le cactus est considéré comme une réserve fourragère sur pied ; il peut constituer un Appoint alimentaire pour les périodes de transition en été et en automne et lors des années de sécheresse. **(YOUSSEF EL KHARRASSI ,2015)**.

1.8.3 Fleurs

D'après **BARBERA (1995)**, en Sicile, le thé préparé par les fleurs d'*Opuntia ficus indica* est utilisé comme traitement contre les maux des reins. En Palestine occupée, les capsules des corolles des fleurs séchées sont utilisées comme remède au dysfonctionnement de prostate et aussi comme régulant (**KENNY, 1993**).

Avec un calendrier apicole qui dure 7 mois (mars-septembre), l'activité des abeilles a lieu sur Les fleurs de l'*Opuntia ficus-indica* pendant 3 mois (avril- juin), ce qui permet de développer L'apiculture en parallèle. Les rendements des ruches sont de 1 à 4 litres de miel. (**HABIBI, 2004**).

1.9 Importance économique

Le revenu moyen annuel par hectare est de 2000 à 3000 \$ en Italie, 2000 \$ en Palestine occupée (**BOUJGHAGH ET CHAJIA, 2001**). Au Maroc, le revenu moyen annuel est de 3000 \$ (**ARBA et al., 2002**). Au Mexique, le revenu est de 27 millions de \$ /an, pour l'usage alimentaire et 20 millions de \$ /an pendant la période de 1990 à 1998. Et en fin, l'usage fourrager constitue 1 million \$ (**SOBERON et al., 2001**).

Selon les professionnels, une tonne de fruits fait un rendement d'un litre de l'huile de graine de cactus. Celui-ci est cédé à plus de 500 euros (**HADJ KOUIDER et LALLOUCHE, 2022**).

1.10 Maladies et parasites des Opuntias

De nombreux parasites et maladies sont rencontrés dans le cactus, le plus dangereux c'est les dégâts causés par les cochenilles.

1.10.1 Les cochenilles :

Les cochenilles (Coccoidea) forment la famille des insectes homoptères Sternorhynches qui comprend plus de 7 000 espèces. Ces insectes suceurs de sève, très prolifiques et nuisibles, mesurant quelques millimètres de long, sont parfois

nommés «poux des plantes » en raison de leur pièce buccale (le rostre) qui leur permet d'aspirer la sève

Depuis les civilisations précolombiennes, elles sont utilisées pour faire le rouge carmin produit à partir de *Dactylopius coccus*.

Bien que généralement polyphages, certaines espèces de cochenilles sont des parasites spécifiques à l'espèce *Opuntia* (**BAHIRA, 1956**)

CHAPITRE II
LA SALINITE ET LE STRESS SALIN

2.1. La salinité

2.1.1 Généralité

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 A, 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.

Les sols salins couvrent 397 millions d'Hectare (**F.A.O., 2005**). En Afrique, près de 4M. ha. 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 DOUAOUI, 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 (NaSO_4) et le sulfate de calcium (Ca SO_4).

Les chlorures : principalement : le chlorure de sodium (NaCl), le chlorure de calcium (Ca Cl_2) et chlorure de magnésium (MgCl_2) 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 G, 1982).

2.1.3 Les Types de la salinité des sols

2.1.3.1 La salinité primaire (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 N,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. Stress salin

Dans le monde, il y a plus de 800 millions d'hectares de terre touchés par la salinité (FAO, 2008). Les régions les plus durement touchées sont les zones arides et semi-arides. La salinisation des terres est un phénomène naturel de dégradation chimique des sols dans la zone d'interface. Elle se traduit par un enrichissement et le dépôt excessif du sol en sels solubles dont les principaux responsables sont : les sels de sodium (Na^+), les chlorures (Cl^-), de calcium (Ca^{2+}), les bicarbonates (HCO_3^-), de magnésium (Mg^{2+}), les sulfates (SO_4^{2-}) et de potassium (K^+). La plupart de ces terres infectées est due par des causes d'ordres naturel (l'altération des roches mères libère différents types de sels solubles, par l'accumulation de sel dans le sol est le dépôt de sels océaniques réalisé par le vent et la pluie) et anthropique (l'agriculture moderne, en raison du défrichement ou de l'irrigation) (LALLOUCHE et al., 2017).

La salinité cause des effets néfastes qui se traduisent par des stress osmotique et ionique (HANANA et al., 2011) et affectent, au final, le développement, la croissance et le taux de survie des plantes (MUNNS et al., 1995 ; LALLOUCHE et al., 2017). Certaines espèces du genre *Pistacia*, sont connues pour leur aptitude à s'adapter aux conditions pédoclimatiques extrêmes. Elles jouent ainsi un rôle vital

dans la nutrition et le développement de l'économie agricole de plusieurs communautés pauvres vivant dans des régions arides et semi-arides (**PADULOSI ET AL, 1996**).

Une forte concentration de Na^+ dans les cellules végétales perturbe ainsi le métabolisme cellulaire réponse spécifique aux ions Na^+ se produit en deux phases ; premièrement, l'exclusion des ions Na^+ par les cellules des racines et deuxièmement, la protection des tissus contre l'excès des ions Na^+ dans les tissus des feuilles (**MUNNS et TESTER, 2008 ; WU et al., 2015**).

Lors d'un stress osmotique, le développement de la partie racinaire est également affecté, mais il est moins inhibé que celui des parties aériennes (**RAHNESHAN et al., 2018**). Dans ce cas, la synthèse des solutés organiques par la plante est nécessaire à l'ajustement osmotique.

L'exclusion des ions Na^+ par les cellules des racines est la principale réponse protectrice chez les plantes qui retarde les effets toxiques du Na^+ cytoplasmique élevé. En réponse à un dysfonctionnement photosynthétique et respiratoire, la plante produit des espèces réactives à l'oxygène (ROS) (un stress oxydatif) (**MANSOUR, 2013**).

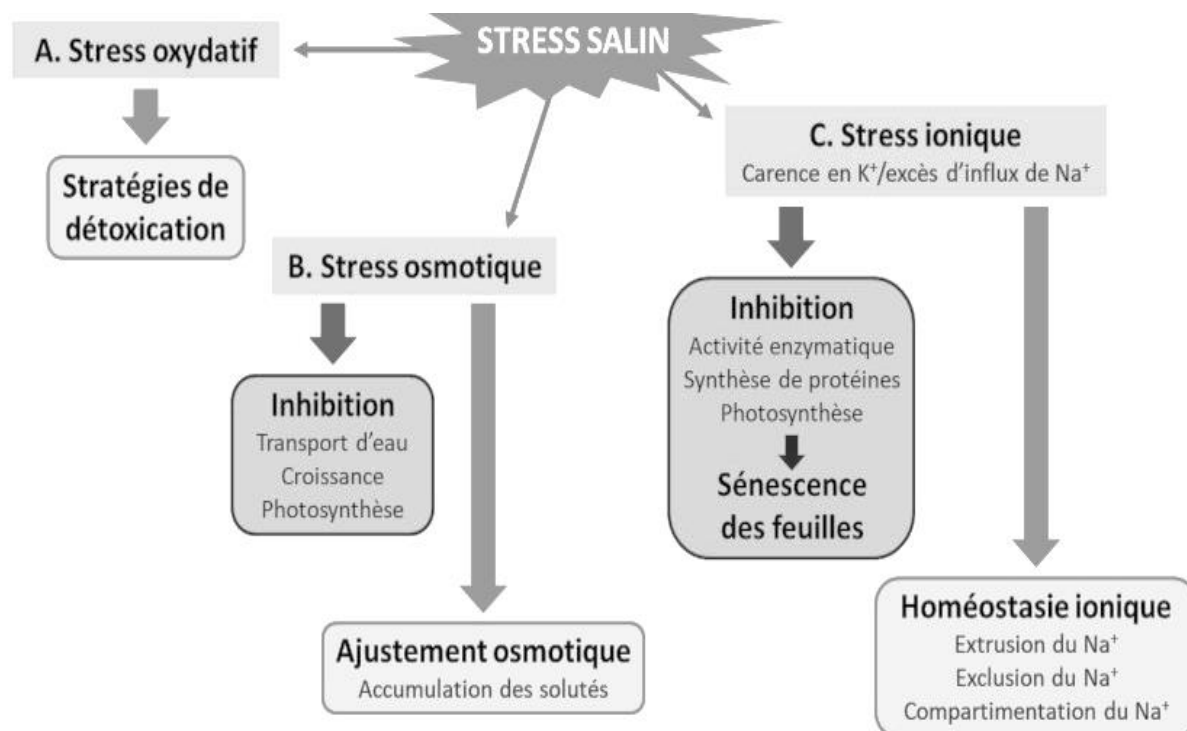


Figure 2.1 : Stress osmotique et ionique. (MUNNS et TESTER, 2008).

2.2.1 Effets du stress salin sur la morphologie et la physiologie des plantes

Le stress salin peut directement ou indirectement affecter la croissance et le développement des plantes qui est généralement associé au niveau élevé de toxicité du sodium et au faible potentiel osmotique de la solution du sol qui provoque des perturbations sur le développement, la croissance des plantes et sur le métabolisme (LALLOUCHE *et al.*, 2017 ; YAMAGUCHI et BLUMWALD, 2005).

Le développement des mécanismes d'adaptation ou de tolérance contre le stress salin nécessite une bonne compréhension des effets de la salinité sur les caractères morphologiques et physiologiques des plantes.

En termes physiologiques, l'effet du sel sur les paramètres physiologie de la plante peut s'exercer de manières différentes. Une forte concentration de NaCl entraîne une diminution du potentiel osmotique dont l'objectif est d'empêcher le potentiel hydrique cellulaire de devenir supérieur à celui des milieux extérieurs et

extracellulaires (Figure 2.1). Ce phénomène aide dans le maintien de la turgescence cellulaire, la rétention de l'eau et la continuité de l'absorption de l'eau du sol. Lorsque l'ajustement osmotique cellulaire n'est pas suffisant, l'eau a tendance à quitter les cellules, ce qui induit une perte de la turgescence et un déficit hydrique (**GORHAM et al., 1990**). Ensuite, les fortes doses de NaCl provoquent une altération de la nutrition minérale (**JACOBY, 1994**).

L'effet dépressif du sel accumulé dans les tissus peut se manifester de deux façons :

Il peut se traduire, d'une part, par une toxicité qui survient lorsque sa concentration dans le compartiment cytosolique excède celle qui est compatible avec une activité métabolique normale (**MUNNS, 1993 ; 2002**).

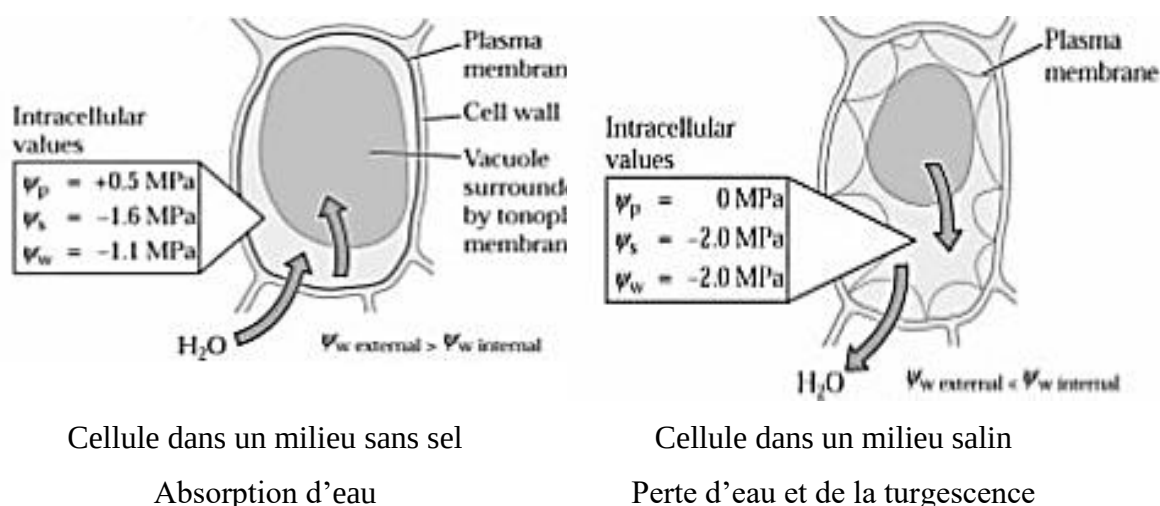


Figure 2.2 : Illustration schématique du changement de potentiel hydrique du milieu extérieur sur la cellule végétale (**JABNOUNE, 2009**).

D'autre part, la saturation de l'apoplasme par le sel est un autre facteur déterminant de la nécrose et de la mort cellulaire car, par un effet osmotique, le sel concentré dans ce compartiment provoque une sortie d'eau intracellulaire, ce qui conduit à une déshydratation rapide des cellules (**MUNNS, 1993**).

Deux types de comportement ont pour effet d'éviter la saturation en sel de l'apoplaste: l'influx «incluser» et l'efflux «excluser» des ions qui caractérisent aussi bien leur mobilité que leur circulation.

2.2.1.1 Type excluser

chez celles de type « excluser », la plus grande partie du sodium absorbé et véhiculé vers les feuilles est réexportée vers les racines via le phloème ou initialement stockée dans les racines (LEVIGNERON *et al.*, 1995 ; BERTHOMIEU *et al.*, 2003 ; LALLOUCHE *et al.*, 2017).

L'étude faite par (VAN DER MOEZEL *et al.*, 1988 ; LALLOUCHE *et al.*, 2017) montre que la plupart des espèces tolérantes à la salinité parmi un grand nombre d'Eucalyptus et Casuarina, exclut le sodium Na^+ et les chlorure Cl^- de leur jeunes pousses en développement. Le site d'exclusion apparaît dans les racines. Les espèces sensibles présentent une faible concentration racinaire en potassium K^+ et une forte absorption du sodium Na^+ . Il y a une évidence mondiale que la capacité d'exclure l'ion (Na^+) et l'ion (Cl^-) de jeunes feuilles est un attribut important d'arbres tolérants la salinité (BELL, 1999 ; RÄSÄNEN, 2002, LALLOUCHE *et al.*, 2017).

C'est pourquoi la plus ou moins grande tolérance des plantes dépend notablement de leur aptitude à répartir le sel entre les parties aérienne et racinaire, compartiments cellulaires et tissus (KIM *et al.*, 2008).

L'aptitude d'exclusion de sodium (Na^+) des parties aériennes est en accord avec la relation négative trouvée entre l'accumulation des ions toxiques (Na^+ et Cl^-) dans la croissance des parties aériennes de Tomate poussant en milieux salins. Le maintien d'une faible concentration de Na^+ dans les feuilles peut être dû à un mécanisme d'exclusion qui provoque une accumulation de Na^+ dans la partie racinaire, évitant une translocation excessive aux tiges ; mais, il peut être aussi lié à une mobilité élevée du Na^+ dans le phloème. Cependant, certaines mesures physiologiques concordent pour suggérer l'existence d'une expulsion active du Na^+ cytoplasmique vers la vacuole ou vers l'apoplasme, protégeant ainsi les équipements

enzymatiques du cytoplasme dans la partie aérienne (**GREENWAY et MUNNS, 1980**).

L'inhibition de la photosynthèse par le NaCl est l'une des causes de la réduction de la croissance et de la productivité végétale (**WANG et NIL, 2000 ; LALLOUCHE et al., 2017**). L'accumulation préférentielle du sel dans les cellules des parties aériennes est un caractère déterminant du degré de tolérance de différentes espèces (**MAAS, 1986**).

La réponse des plantes au stress salin est complexe et fait intervenir des voies de réponse diverses (Figure 2.3) conduisant à des mécanismes d'adaptation qui induisent un arrêt rapide de la croissance pour une meilleure redistribution des nutriments dans les différents tissus et au rétablissement rapide de la croissance lorsque le stress est levé (**MAHJOUBI, 2018**).

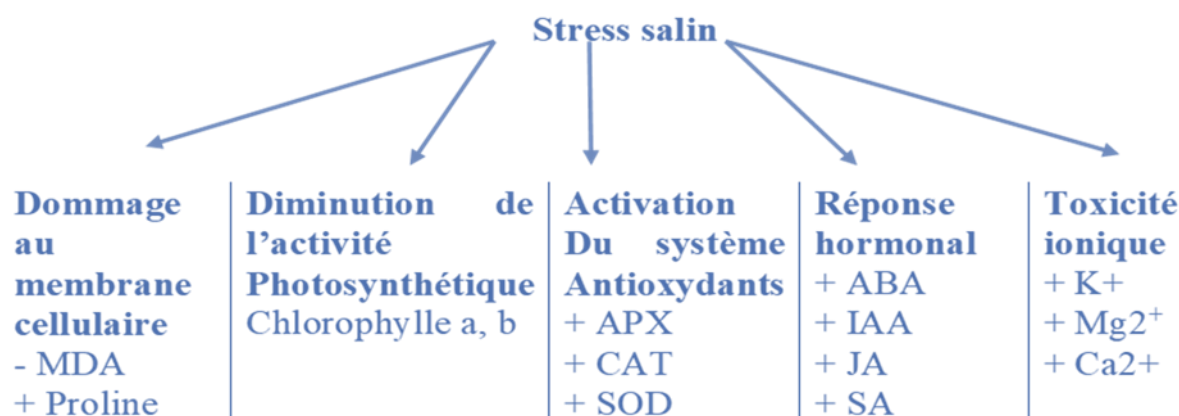


Figure 2.3 : Réponse des plantes au stress salin. (MAHJOUBI, 2018).

2.2.1.2 Type *include*

Chez les plantes de type « *include* », les flux de sodium sont essentiellement ascendants, et le sel est accumulé dans les parties aériennes au niveau des vacuoles (**RÄSÄNEN, 2002**). Cependant, l'hypothèse la plus communément admise est que l'entrée de Na⁺ se fait contre son gradient électrochimique ; l'énergie nécessaire au transport de cet ion serait fournie par le gradient de protons engendré par la pompe à protons du tonoplaste. (**LEVIGNERON, 1995**), signalent que, La vacuole se chargerait ainsi en sodium grâce à l'action d'un antiport sodium-proton Na⁺/H⁺,

lequel serait entretenu par le fonctionnement accéléré des pompes à proton Na^+/H^+ . L'existence d'un système d'échange Na^+/H^+ est largement signalé. Il est alors admis que c'est la performance de stocker le sel dans les parties aériennes qui est déterminante dans le niveau de tolérance au sel des espèces.

La concentration foliaire en éléments nutritifs chez *E. microtheca* avant et après le stress salin était semblable ce qui indique sa capacité de contrôle de l'absorption des sels ou la séquestration des ions toxiques dans les feuilles inférieures qui sont par la suite sénescence (BELL, 1999).

Les plantes inclusives associent la résistance à la salinité avec l'aptitude à transporter de grandes quantités de NaCl dans les feuilles. Il semble que ces comportements résultent d'une bonne compartimentation cellulaire du (Na^+) ; ce qui explique la tolérance à l'accumulation foliaire, et aussi la faible re-circulation de cet ion à travers le phloème (TAL et al, 1983).

2.2.2 Effet du stress salin sur la germination des graines

Malgré l'importance de la germination des graines sous stress salin (ZHANG et al, 2014), le mécanisme de la tolérance à la salinité chez les graines est relativement mal compris, en particulier en comparaison avec la quantité d'information actuellement disponible sur la physiologie et la biochimie des végétaux de la tolérance à la salinité (RIVERO et al, 2014).

Bien que, la salinité des sols constitue un facteur limitant en agriculture, car elle inhibe la germination et la croissance de la plantule (BEN MADANI et BELOUADAH, 2017).

Selon les mêmes auteurs, la présence de chlorure de sodium entraîne une augmentation de la durée du processus de la germination et retarde par conséquent la levée, car, les stress salin et osmotique sont responsables à la fois de l'inhibition ou un retard de germination et de la levée des graines.

D'autres travaux montrent que l'effet du stress salin sur la germination peut être attribué soit à un effet osmotique et/ou une toxicité des ions spécifiques à l'émergence de la radicule ou le développement des semis (**HUANG et REDMAN, 1995**).

D'autres travaux signalent que seul le processus de germination, et non la capacité germinative, est altéré en milieu salé (**ALMANSOURI et al., 2001 ; KHAN et al., 2009**).

Le stress salin peut affecter le taux de germination de deux façons :

- en augmentant la pénétration d'ions qui peuvent s'accumuler dans les graines à des doses qui deviennent toxiques.

- en diminuant la vitesse d'entrée et la quantité d'eau absorbée par les graines ;

La survie des plantes, dans un milieu donné, dépend en grande partie de leur réaction au stade de germination et aussi à l'intra spécificité variétale. Chez l'*Atriplex halimus* L., la vitesse de germination est ralentie à partir de 9 g.l⁻¹ de NaCl ; est d'avantage inhibée à des concentrations plus élevées, cette inhibition est de nature osmotique (**KHAN et al, 2009**).

Cela pourrait expliquer le fait que les graines obtenues à partir de plantes cultivées dans des conditions salines peuvent être plus tolérantes à la salinité que ceux des conditions non saline, mais une telle augmentation de la tolérance n'a pas toujours été observée (**BEWLEY, 1997**).

Afin d'étudier la tolérance à la salinité chez l'opuntia, plusieurs espèces ont été testées sous différentes concentrations salines : 200 mM de NaCl ; 400 mM de NaCl ; 600 mM de NaCl. Les résultats acquis montrent la tolérance de l'*opuntia engelmannii* au niveau de stress très sévère (600 mM de NaCl) (**HADJ KOUIDER et al, 2021**).

(**MUJICA et al., 2001**), montrent que six à sept jours après la mise en germination des graines de quelques génotypes du quinoa, les graines de génotypes

tolérants au sel germent à plus de 75 % à des concentrations salines de 0,6 M de NaCl ($57 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$), ce qui indiquerait que le sel ne provoque pas la mort de l'embryon mais retarde les mécanismes biochimiques et physiologiques impliqués dans l'initiation de la germination. Pour la plupart des cultivars, la production est plus élevée dans des conditions modérément salines que dans des conditions non salines, ce qui fait du quinoa un halophyte facultatif (**SANCHEZ et al, 2003**).

2.2.3 Mécanisme d'adaptation des plantes au stress salin

a. Synthèse des solutés compatibles

La proline et la glycine bêtaïne sont rapportés pour fonctionner dans l'ajustement osmotique, le piégeage des radicaux libres et la protection des macromolécules cellulaires. D'autres solutés compatibles qui s'accumulent dans les plantes sous stress salin comprennent des glucides tels que les sucres (glucose, fructose, saccharose, fructanes) et de l'amidon (**PARIDA et al., 2002**).

b. Exclusion et inclusion d'ions

L'élimination du sodium de la compartimentation dans les vacuoles ou du cytoplasme est effectuée par un enzyme anti-sel Na^+ / H^+ inductible par le NaCl (**APSE et al, 2003**). **HANANA et al., (2009)**, ajoutent que, l'inclusion d'ions dans le cytoplasme peut conduire à un ajustement osmotique qui est généralement accepté comme une adaptation biochimique importante à la salinité

c. Modifications de la capacité photosynthétique

La régulation de la biosynthèse du métabolisme et de l'activité de la chlorophylle est primordiale pour les processus physiologiques. Cette régulation de la biosynthèse de la chlorophylle peut être une bonne stratégie de défense.

Depuis la biosynthèse de la chlorophylle est une ramification de la voie de l'acide mévalonique, voie importante du métabolisme secondaire, les voies de ce point clé (α -levulunate) sont probablement détournées vers la biosynthèse des osmolytes compatibles.

d. Contrôle de l'absorption ionique par les racines

NOBLE et ROGERS, (1992), montrent que, un degré plus élevé de tolérance au sel chez les plantes est associé à un système plus efficace pour l'absorption sélective de K^+ sur Na^+ .

e. Induction des hormones végétales

Il existe des preuves de l'implication de l'ABA dans la phosphorylation/réversible des protéines, via des kinases de type CDPK (kinases Ca^{2+} -dépendantes) ou MAPK (Mitogen Activated Protein Kinase) et des phosphates (**KRONIEWICZ, 2011**). Les effets inhibiteurs du NaCl sur la photosynthèse, la translocation des assimilés et la croissance se sont révélés être atténués par ABA qui agit sur la fermeture et l'ouverture des stomates (**GRONDIN et al., 2015**).

Sous stress salin, l'augmentation de l'absorption de Ca^{++} est associée à l'élévation de l'ABA et contribue ainsi à l'entretien de l'intégrité membranaire, ce qui permet aux plantes de réguler le transport et l'absorption à des niveaux élevés de salinité externe à plus long terme (**CHEN et al., 2001**). L'ABA provoque l'abscission des feuilles probablement en diminuant l'accumulation d'ions Cl^- toxiques dans les feuilles et réduit la libération de l'éthylène (**GOMEZCADENAS et al, 2002**).

f. Induction d'antioxydants

La synthèse des métabolites secondaires tels que : les polyphénols, le tocophérol, les alcaloïdes, les flavonoïdes et les caroténoïdes permet à la cellule végétale de se protéger contre les agents abiotiques provoqués par les contraintes du milieu, ces mécanismes non-enzymatique maintiennent l'équilibre oxydo-reducteur de la cellule (**MISIRLI et al., 2001**).

Les plantes possèdent des systèmes efficaces pour éliminer les espèces d'oxygène actif qui les protègent des réactions oxydatives destructrices. Ces mécanismes peuvent être divisés en deux catégories selon l'implication directe ou indirecte des enzymes (**SOFO et *al.*, 2000**)

CHAPITRE III MATÉRIELS ET MÉTHODES

3.1. Objectif

Ce travail présente une étude sur l'évaluation de la variabilité morphologique d'une espèce d'*Opuntia* cultivées et commercialisées en Algérie en vue d'élucider le seuil critique au-delà duquel l'espèce ne peut plus survivre. Pour y parvenir, nous avons essayé d'évaluer l'effet du stress salin sur la croissance et le développement des cladodes et ceci en utilisant différentes doses de NaCl.

3.2. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé dans ce travail est constitué des boutures « jeunes raquettes » d'une espèce du figuier de barbarie « *Opuntia ficus indica* Mill f. *inermis* » prélevée sur des pieds mère dans le périmètre de « Sidi Hadjras, wilaya de M'sila » (Figure 3.1). Latitude : 35.672, Longitude : 4.0352 35° 40' 19" Nord, 4° 2' 7" Est. Altitude 504 m. Climat méditerranéen avec été chaud.



Figure 3.1 : Sites de prélèvements du matériel végétal.

3.3. Lieu de l'expérimentation

L'expérimentation est installée au niveau du département des sciences agronomiques à l'université de M'sila.

3.4. Dispositif expérimental

Nous avons opté pour un dispositif expérimental en randomisation totale, à un facteur ; facteur dose de NaCl avec six (06) niveaux répartis aléatoirement. Chaque traitement comporte 7 répétitions, soit 42 plants au total (Figure 3.2).

T0 Opuntia f.i.	T1 Opuntia f.i.	T2 Opuntia f.i.	T3 Opuntia f.i.	T4 Opuntia f.i.	T5 Opuntia f.i.
T0 Opuntia f.i.	T1 Opuntia f.i.	T2 Opuntia f.i.	T3 Opuntia f.i.	T4 Opuntia f.i.	T5 Opuntia f.i.
T0 Opuntia f.i.	T1 Opuntia f.i.	T2 Opuntia f.i.	T3 Opuntia f.i.	T4 Opuntia f.i.	T5 Opuntia f.i.
T0 Opuntia f.i.	T1 Opuntia f.i.	T2 Opuntia f.i.	T3 Opuntia f.i.	T4 Opuntia f.i.	T5 Opuntia f.i.
T0 Opuntia f.i.	T1 Opuntia f.i.	T2 Opuntia f.i.	T3 Opuntia f.i.	T4 Opuntia f.i.	T5 Opuntia f.i.
T0 Opuntia f.i.	T1 Opuntia f.i.	T2 Opuntia f.i.	T3 Opuntia f.i.	T4 Opuntia f.i.	T5 Opuntia f.i.
T0 Opuntia f.i.	T1 Opuntia f.i.	T2 Opuntia f.i.	T3 Opuntia f.i.	T4 Opuntia f.i.	T5 Opuntia f.i.

Figure 3.2. Dispositif expérimental adopté

3.5. Protocole expérimentale

Le présent travail vise à déterminer les effets néfastes du NaCl sur la capacité d'enracinement et sur la croissance et le développement des jeunes raquettes d'une espèce d'*Opuntia ficus indica* Mill f. *inermis*.

Les boutures « jeunes raquettes » sont plantées dans des sachets en plastique, de dimensions 28 x 13 x 6.5 cm, sur un substrat composé d'un mélange de sable fin (2/3) et sol (1/3) (Fig. 3.3). Les conteneurs de culture sont placés en serre. Le chlorure de sodium (NaCl) a été choisi comme agent de stress. Six doses de NaCl 0 (témoin), 100 mM, 200 mM, 300 mM, 400 mM et 600 mM ont été utilisées (Tableau 3.1). 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 150 ml par conteneur (sachet).



Figure 3.3 : Plantation des boutures de l'*Opuntia ficus indica* Mill f. *inermis* dans des conteneurs en sachets.

Tableau 3.1 : Composition de la solution saline

1 litre d'eau distillée	T₀ (0)	T₁ (100 mM)	T₂ (200 mM)	T₃ (300 mM)	T₄ (400 mM)	T₅ (600 mM)
NaCl	0 g	5.85g	11.7 g	17.55	23.4 g	35.1 g

3.6. Les paramètres étudiés

Après 130 jours, dès l'application du stress salin, des prélèvements de matériel végétal sont effectués à partir de plantules témoins et traitées, destinées à l'analyse des paramètres du système racinaire et aérienne.

Les paramètres mesurés au cours de ce travail sont :

- Capacité d'enracinement (présence ou absence des racines, nombre de racines par raquette, longueur de racines la plus longue) (Figure 3.4).
- Nombre et longueur des nouvelles raquettes (Figure 3.4).
- Poids frais et sec des racines (Figure 3.4).

3.7. Analyse statistique

Les données recueillies ont fait l'objet d'une analyse de la variance à un critère de classification (stress salin) par le Stat-Box V. 6.40. Le classement des moyennes été réalisé par le test de NEWMAN et Keuls.



Figure 3.4 : Différents partie du matériel végétale analysée.

CHAPITRE IV
RESULTATS ET DUSCUSSION

4.1. Analyse de l'effet du stress salin sur la capacité d'enracinement et la croissance et le développement des jeunes raquettes

Dans le présent travail, il nous a paru intéressant d'analyser quels sont les effets du stress salin, sur la capacité d'enracinement, la croissance et le développement des jeunes raquettes de l'*Opuntia ficus indica* Mill f. *inermis* soumise à différentes doses de chlorure de sodium (NaCl). Nous nous sommes intéressés aux paramètres morphologiques tels que les longueurs des cladodes et des racines, le poids sec des parties aériennes et des racines. Les photos ci-dessous montrent l'état des plants à la fin de l'expérimentation (Figure 4.1 ; 4.2).

Les constats visuels, montrent l'action défavorable du chlorure de sodium NaCl sur la croissance (Figure 4.1 ; 4.2).



Figure 4.1 : Aspect morphologique des plants d'*Opuntia ficus indica* Mill f. *inermis* à la fin de l'expérimentation (après 130 jours d'application du stress salin).



T1= 0 Mm NaCl



T2= 100 Mm NaCl



T3= 200 Mm NaCl



T4= 300 mM NaCl



T5= 400 mM NaCl



T6= 600 mM NaCl

Figure 4.2 : Aspect de la partie racinaire et aérienne après 130 jours sous différentes doses de NaCl.

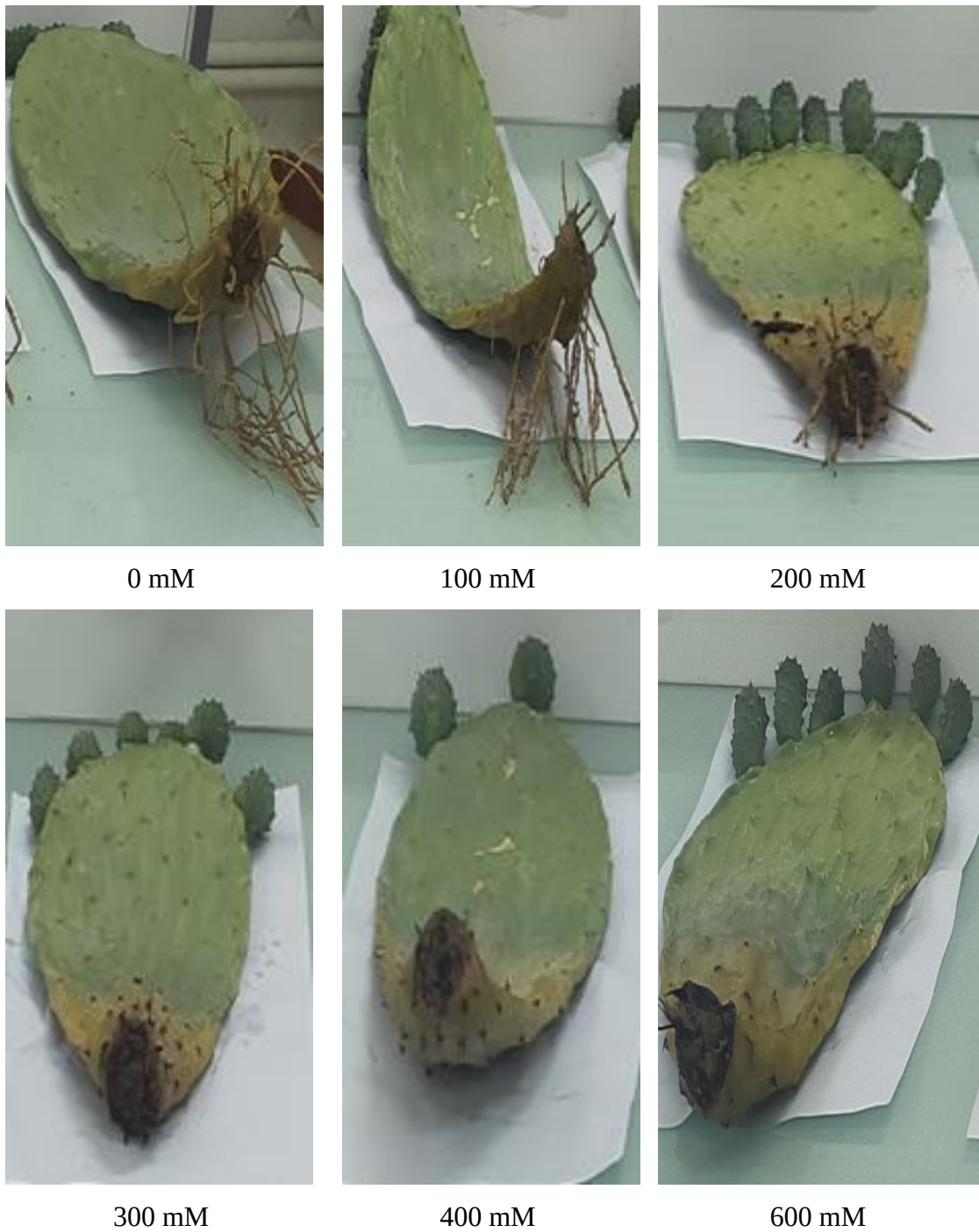


Figure 4.3 : Effet du stress salin sur la capacité d'enracinement d'*Opuntia ficus indica* Mill f. *inermis*.

4.2. Analyse de l'effet du stress salin sur la capacité d'enracinement

Après traitements statistiques, les résultats de tous les paramètres sont présentés dans l'ordre suivant :

4.2.1. Effet du stress salin sur le nombre de racine

Les résultats de l'analyse de la variance à un critère de classification (Tableau 4.1 Annexe 1) révèlent que le nombre de racine par cladode dépend essentiellement de l'effet de NaCl ($p=0$).

L'analyse de la variance à un seul critère de classification montre une différence très hautement significatif ($p=0.00$) (tableau 4.1). Le test de Newman et Keuls fait ressortir cinq groupes homogènes (tableau 4.1), le premier groupe (A), représente la moyenne la plus élevée enregistrées chez le témoin avec une valeur maximale de 34 racines par raquette, le dernier groupe (E) représente la moyenne la plus faible, avec une moyenne de 4 racines par raquette chez l'*Opuntia ficus indica* Mill f. *inermis*

Tableau 4.1 : Effet du stress salin sur le nombre de racine

NaCl mM	Moyennes ± écart type	Groupes homogènes	Signification	Probabilité
T1	34 ± 2	A	Test F très hautement significatif	0
T2	24 ± 1	B		
T3	20 ± 1	C		
T4	13 ± 2	D		
T5	12 ± 1			
T6	4 ± 1	E		

Pour le nombre de racines émises, l'*Opuntia ficus indica* Mill f. *inermis* se montre sensible au niveau de stress salin très sévère (600 mM de NaCl), perdant plus de 88% de leur capacité en matière de d'émission racinaire.

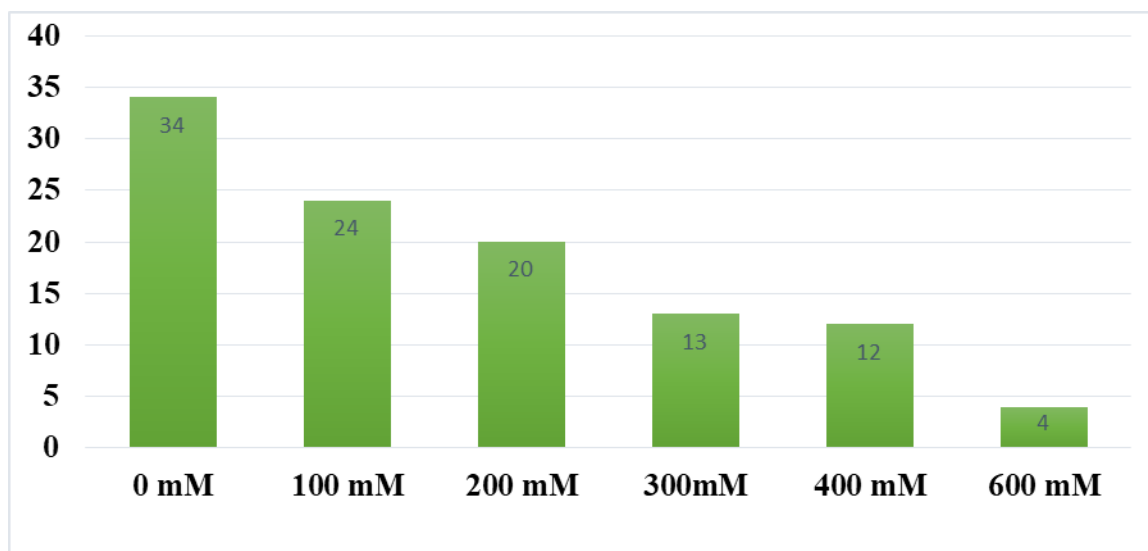


Figure 4.4 : Effet du stress salin sur le nombre de racine.

4.2.2. Effet du stress salin sur la longueur de racine la plus longue

L'analyse des résultats montre que la concentration de NaCl dans le milieu influe sur la croissance en longueur des racines de l'*Opuntia ficus indica* Mill f. *inermis*. Cette influence est confirmée par l'analyse de la variance à un seul critère de classification dont la différence des moyennes est très hautement significative ($p=0,00$), (tableau 4.2).

L'allongement le plus important (11,188cm et 10.813cm) a été obtenu chez le témoin (0 mM).

Tableau 4.2 : Effet du stress salin sur la longueur de racine la plus longue.

NaCl mM	Moyennes $\pm$ écart type	Groupes homogènes	Signification	Probabilité
T2	14,2 $\pm$ 2	A	Test F très hautement significatif	0
T1	13 $\pm$ 1			
T3	5,5 $\pm$ 1	B		
T6	0,9 $\pm$ 0.1	C		
T4	0,9 $\pm$ 0.2			
T5	0,5 $\pm$ 0.1			

En effet le test de Newman et keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir trois groupes homogènes (tableau 4.2). Un groupe dominant (A) représenté par les moyennes les plus élevées de l'*Opuntia ficus indica* Mill f. *inermis*, elles sont situées entre 14cm et 13 cm et le dernier groupe (C) qui reflète la moyenne la plus faible avec des valeurs situées entre 0.9 cm et 0.5 cm.

Pour ce paramètre, l'*Opuntia ficus indica* Mill f. *inermis* se montre sensible aux niveaux de stress salin modéré, élevée et très sévère (300 mM, 400 mM et 600 mM de NaCl), perdant plus de 93.33 % de leur capacité en matière de d'émission racinaire.

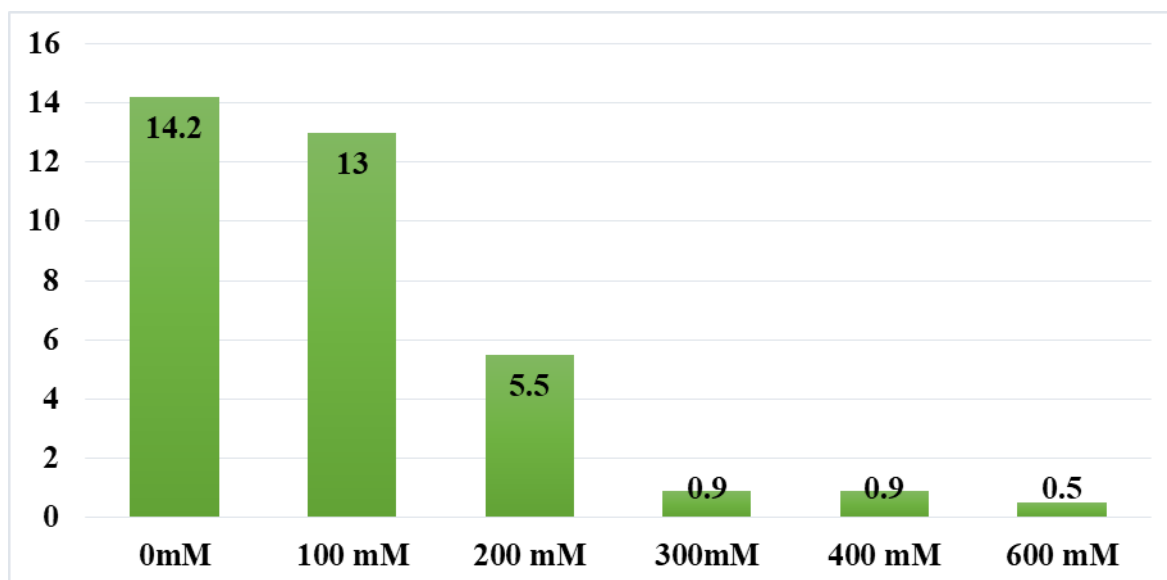


Figure 4.5 : Effet du stress salin sur la longueur de racine la plus longue.

4.2.3. Effet du stress salin sur le nombre d'aréole par raquette

Les résultats de l'analyse de la variance à un critère de classification (Tableau 4.1 Annexe 1) révèlent que le nombre d'aréole par raquette dépend essentiellement de l'effet de NaCl ($p=0$).

L'analyse de la variance à un seul critère de classification montre une différence très hautement significatif ($p=0.00$) (tableau 4.3). Le test de Newman et

Keuls fait ressortir quatre groupes homogènes (tableau 4.3), le premier groupe (A), représente la moyenne la plus élevée enregistrées chez le témoin (0 mM), au stress salin modérément sévère (400mM) et sévère (600 mM) avec des valeurs maximales situées entre 48 aréoles et 46 par raquette, le dernier groupe (D) représente la moyenne la plus faible, avec une moyenne de 39 aréoles par raquette chez l'*Opuntia ficus indica* Mill f. *inermis*.

Pour le nombre d'aréoles par raquette émises, l'*Opuntia ficus indica* Mill f. *inermis* se montre résistante aux niveau de stress salin faible, modérée, modérément sévère et sévère et très sévère (100, 200, 300, 400 et 600 mM de NaCl), perdant moins de 18% de leur capacité en matière de d'émission des aréoles.

Tableau 4.3 : Effet du stress salin sur le nombre d'aréole par raquette.

NaCl mM	Moyennes $\pm$ écart type	Groupes homogènes	Signification	Probabilité
T5	48 $\pm$ 2	A	Test F très hautement significatif	0
T1	48 $\pm$ 1.4			
T6	46 $\pm$ 1			
T2	44 $\pm$ 2	B		
T3	41 $\pm$ 1	C		
T4	39 $\pm$ 1	D		

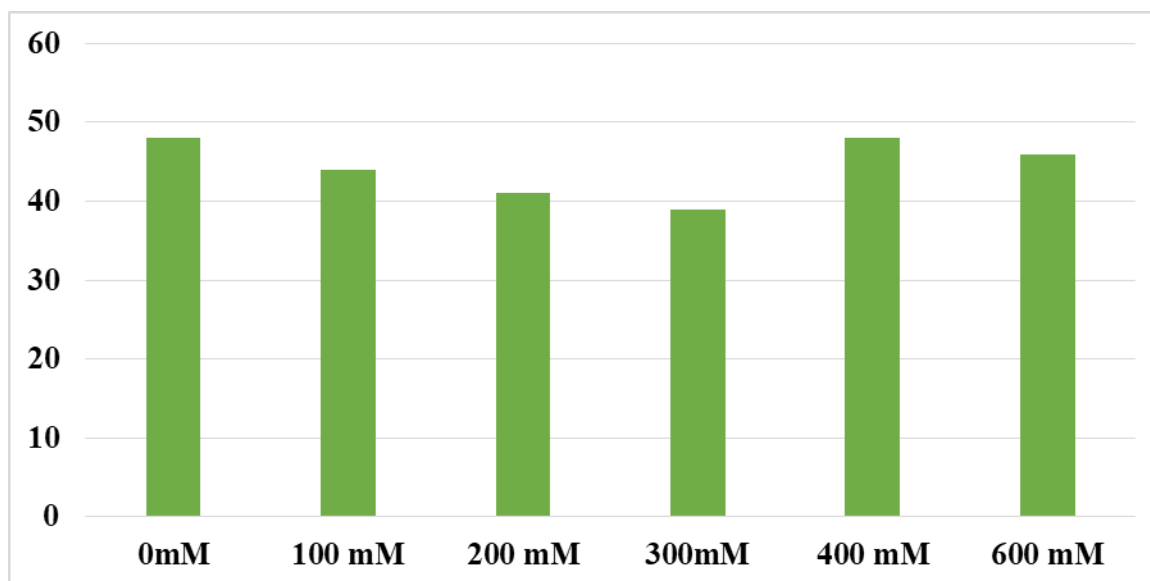


Figure 4.6 : Effet du stress salin sur le nombre d'aréole par raquette.

4.2.4. Effet du stress salin sur le poids sèche des racines

Les résultats de l'analyse de la variance (Tableau 4.4) obtenu révèlent que le poids frais de racine est fortement influencer par la variabilité testée ($p=0$). Le stress appliqué exerce un effet très hautement significatif sur l'expression de ce paramètre ($p=0$).

Le test de NEWMAN-KEULS au seuil de 5% pour le facteur stress salin indique quatre groupes homogènes (Tableau 4.4). Le groupe A correspond au témoin (0 mM NaCl) avec une moyennes générales de 2.28 g. Le dernier groupe D correspond aux niveaux du stress salin sévère et très sévère.

Il ressort de la figure 4.7, une dévaluation du poids frais individuelle des racines, avec l'augmentation du niveau de stress salin chez l'*Opuntia ficus indica* Mill. Forme inermis.

Le niveau du stress sévère et le plus sévère (400 mM et 600 mM) a provoqué la diminution la plus marquée allant de 2.88 g chez le témoin à 0 g ce qui constitue une diminution de 100 % par rapport au témoin (Figure 4.8).

En résumé le stress salin entraine dès la première dose de NaCl une chute de l'accumulation de la matière sèche des racines de plus de 37 % par rapport au témoin.

Tableau 4.4 : Effet du stress salin sur le poids sèche des racines.

NaCl mM	Moyennes $\pm$ écart type	Groupes homogènes	Signification	Probabilité
T1	2,88 $\pm$ 1	A	Test F très hautement significatif	0
T2	1,8 $\pm$ 0.5	B		
T3	0,37 $\pm$ 0.1	C		
T4	0,05 $\pm$ 0.11	D		
T5	0 $\pm$ 0			
T6	0 $\pm$ 0			

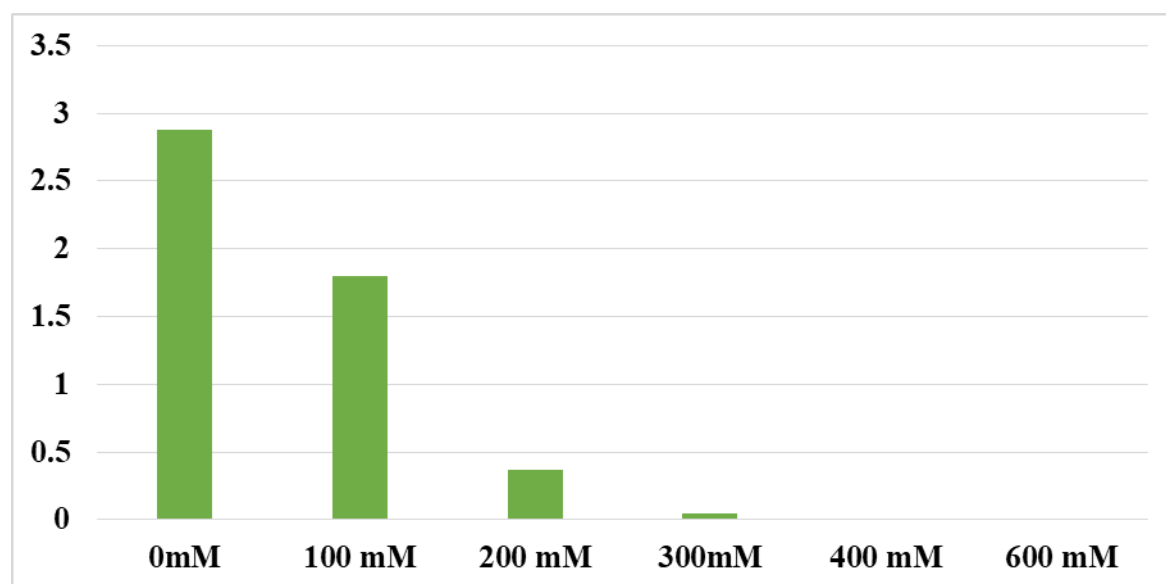


Figure 4.7 : Effet du stress salin sur le poids sèche des racines.

4.2.5. Effet du stress salin sur le poids frais des racines

Le test de NEWMAN-KEULS au seuil de 5% classe le facteur niveaux du stress salin en quatre groupes homogènes (Tableau 4.5). Le groupe (A) dominant est représenté par les moyennes mesurées chez les individus dans l'absence de sel

(témoin) dans leur milieu de culture avec une valeur plus élevée de 6.07 g. Le deuxième groupe (B) est représenté par le deuxième niveau de stress (100 mM) avec la valeur la plus élevée de 3.883 g par rapport à la valeur la plus petite 0.02 g du groupe (D) représenté par le niveau du stress modérément sévère, sévère et très sévère (300 mM, 400 mM et 600 mM).

Tableau 4.5 : Effet du stress salin sur le poids frais des racines.

NaCl mM	Moyennes ± écart type	Groupes homogènes	Signification	Probabilité
T1	6,07 ± 1.5	A	Test F très hautement significatif	0
T2	3,883 ± 1	B		
T3	1,187 ± 0.5	C		
T4	0,04 ± 0.1	D		
T5	0,03 ±			
T6	0,02 ±			

Le stress salin influe négativement sur le poids frais des racines d'*Opuntia* à partir d'un stress faible (100 mM NaCl).

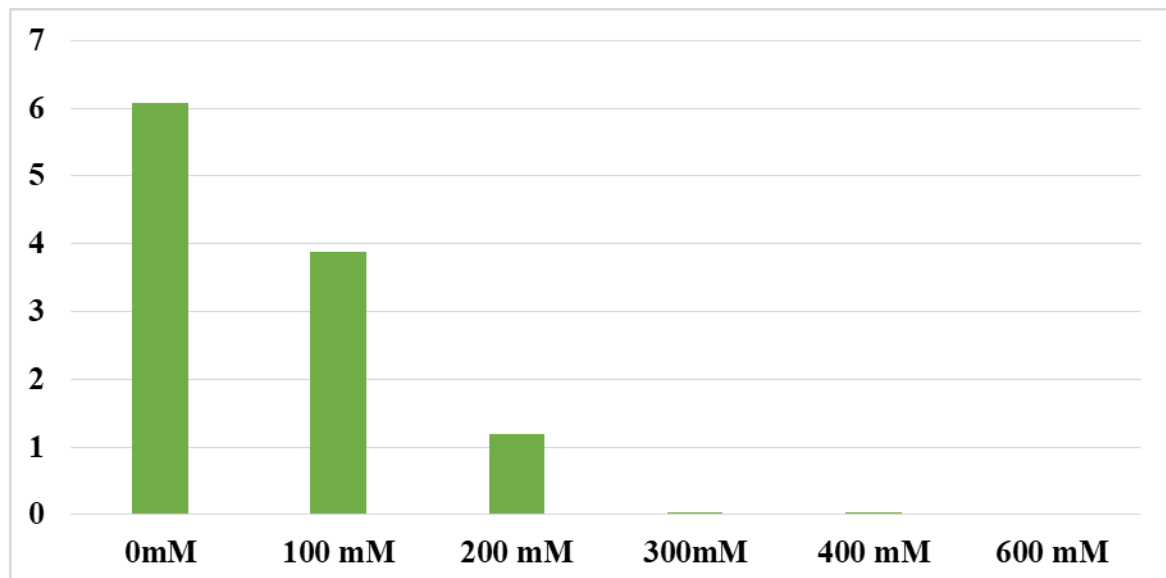


Figure 4.8 : Effet du stress salin sur le poids frais des racines.

DISCUSSION

Le comportement de l'*Opuntia ficus indica* Mill f. *inermis* a été évalué à travers différents paramètres morphologiques au niveau du système racinaire sous stress salin au NaCl à 100 mM, 200 mM, 300 mM, 400 mM et 600 mM NaCl. Les effets de la salinité se manifestent au niveau de la plante entière à des degrés variables. D'autre part, les conséquences de l'intensité de la salinité révèlent une bonne tolérance de cette espèce d'*Opuntia* vis-à-vis le facteur stress salin. La réponse varie d'un organe à un autre, selon l'intensité du stress.

Le stress salin exerce chez les espèces d'*Opuntia* étudiées un effet dépressif sur la plupart des paramètres morphologiques étudiés. Le degré de sensibilité ou de tolérance dépend de l'intensité du stress. De ces résultats, il ressort que pour tous les paramètres morphologiques étudiés, le nombre de racines par raquette est le paramètre le plus discriminant quel que soit le niveau du stress salin appliqué (100 mM, 200 mM, 300 mM, 400 mM et 600 mM). L'apparition d'interaction très hautement significative pour le nombre de racines par raquette, montre bien l'intérêt de ce caractère dans les programmes d'amélioration et de sélection des espèces tolérantes à la salinité.

Le développement du système racinaire joue un rôle important dans l'alimentation hydrique et minérale de la plante. L'optimisation de l'absorption d'eau est liée à un ensemble complexe des caractères morphologiques du système racinaire : nombre, poids, longueur (SOAR et al., 2007).

Les résultats obtenus montrent que, la croissance et le développement racinaire en volume et en longueur semble différente à la contrainte saline et présente une différence très hautement significative vis-à-vis du niveau de salinité, bien que les racines constituent le premier site de contact entre la plante et la forte concentration en sel du milieu d'irrigation.

Ainsi, le nombre d'aréoles par raquette augmente légèrement par rapport au témoin.

Le volume racinaire diminué pour tous les traitements appliqués (100, 200, 300, 400 et 600 mM NaCl).

Les mêmes résultats ont été obtenus par **LALLOUCHE, (2018)** pour les paramètres des racines de cinq espèces d'*Opuntia* (*Opuntia ficus indica* Mill f. *inermis*, *Opuntia ficus indica* Mill f. *amyclea*, *Opuntia robusta* var *robusta*, *Opuntia streptacantha*, *Opuntia engelmannii* var *longuiformis*).

Des résultats similaires montrant l'effet négatif du stress salin sur les caractères morphologiques du système racinaire ont été mis en évidence chez quelques espèces du genre *Opuntia* (**SILVERMAN et al., 1988 ; FRANCO-SALAZAR et VELIZ, 2007 ; CHA-UM, et al., 2013 ; MURILLO-AMADOR et al., 2001**).

CONCLUSION

Cette étude expérimentale a été entreprise dans le but d'étudier la tolérance du figuier de barbarie (*Opuntia ficus indica* Mill f. *inermis*) à la salinité, et d'identifier d'éventuels critères morphologiques d'évaluation du degré de tolérance ou de sensibilité de cette espèce à la salinité. Les résultats obtenus nous permettent de tirer les conclusions suivantes.

L'influence de la salinité dans le milieu d'irrigation se traduit par une diminution de la croissance du système racinaire qui est d'autant plus importante que la concentration du stress est plus accentuée, surtout aux doses de sel les plus élevées (400 et 600 mM NaCl). Nos résultats ont montré que l'espèce d'*Opuntia* étudiée développe un système racinaire plus important aussi bien en milieu témoin qu'en conditions de contrainte saline.

A l'issue du travail réalisé sur l'espèce d'*Opuntia* (figuier de barbarie), nous pouvons conclure que sur la base des paramètres les plus discriminants, l'espèce d'*Opuntia ficus indica* Mill f. *inermis* semble mieux supporter la contrainte saline. 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'étude de plus de caractères agronomiques relatifs au développement végétatif.

L'introduction d'un plus grand nombre des écotypes du figuier de barbarie cultivés et commercialisés en Algérie.

Un intérêt particulier à la partie racinaire qui est importante pour la tolérance à la salinité 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 paramètres physiologiques et biochimiques au niveau du système racinaire.

Le dosage d'éléments antioxydants impliqués dans le mécanisme de détoxification.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ALMANSOURI. M, KINET. J. M., et LUTTS. S. (2001). Effect of salt and osmotic stresses on germination in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *Plant and soil*, 231(2), 243-254.

APSE. M. P, SOTTOSANTO.J. B, et BLUMWALD. E. (2003). Vacuolar cation/H⁺ exchange, ion homeostasis, and leaf development are altered in a T-DNA insertional mutant of AtNHX1, the Arabidopsis vacuolar Na⁺/H⁺ antiporter. *The plant journal*, 36(2), 229-239.

ARABA. A, EL AICH. A. et Sarti. B (2000). «Valorisation du figuier de Barbarie en élevage», Bulletin Mensuelle d'Information et de Liaison du PNTT N° 68, pp 1 - 4.

ARBA. M, CHERIF. B.M., et MOKHTARI. M. (2002). «The cactus pear (*Opuntia* spp.) in Morocco: Main species and cultivar characterisation», *Acta Hort. (ISHS)* 581, pp 103 - 109.<http://www.actahort.org>.

AUBERT. G. (1982). A novel approach of the magnetoelectric effects in ferrimagnets. *Journal of Applied Physics*, 53(11), 8125-8129.

BADREDDINE. A, ZARROUK. A, NURY. T, EL KHARRASSI. Y, NASSER. B, MALKI. M. C, et SAMADI. M. (2015). An expeditious synthesis of spinasterol and schottenol, two phytosterols present in argan oil and in cactus pear seed oil, and evaluation of their biological activities on cells of the central nervous system. *Steroids*, 99, 119-124.

BARBERA. G. (1995). «History, Economic and Agro-ecological importance», In: Barbera. G, inglese. P, Pimienta. B.E, 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, pp 1 - 11.

BARNETT. P. J, SHARPE. D. R, RUSSELL. H. A. J, BRENNAND. T. A, GORRELL. G, KENNY. F., et PUGIN. A. (1998). On the origin of the Oak Ridges Moraine. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 35(10), 1152-1167.

BEN MADANI. R., et BELOUADAH. A. (2017). *Test de germination dans des conditions de stress salin et caractérisation phénotypique de quelques variétés de la*

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

laitue cultivée dans la région de m'sila (doctoral dissertation, université Mohamed Boudiaf de m'sila).

BENSAUDE-VINCENT.B, GARCIA BELMAR.A., et BERTOMEU SANCHEZ.J. R. (2003). L'émergence d'une science des manuels. *Les livres de chimie en France (1789-1852)*, Paris : Éditions des archives contemporaines.

BERTHOMIEU. P, CONEJERO. G, NUBLAT. A, BRACKENBURY. W. J, LAMBERT. C, SAVIO. C., et CASSE. F. (2003). Functional analysis of *athkt1* in *Arabidopsis* shows that Na^+ recirculation by the phloem is crucial for salt tolerance. *The embo journal*, 22(9).

BEWLEY. J. D. (1997). Seed germination and dormancy. *The plant cell*, 9(7), 1055.

BHIRA OUMAYA(1956). potentialités thérapeutiques d'*Opuntia ficus indica* en Maroc et en Tunisie, thèse pour l'obtention du doctorat en pharmacie, pp171.

BOSSARD. R. (1978). «Floriculture», N°3, éd. 4ème édition entièrement revue, Collection d'Enseignement Horticole., Paris. Pp 269 - 270.

BOUJGHAGH. M. ; et CHAJIA. L. (2001). «Le cactus : outil de gestion de la sécheresse dans le sud marocain», terre et vie, N° :52,44, Rabat Maroc, Novembre/Décembre. p.7. [http://www. Terre et vie.ov.h.org](http://www.Terre-et-vie.ov.h.org).

BUSWELL. R. A, SOAR. R. C, GIBB. A. G., et THORPE. A. (2007). Freeform construction: mega-scale rapid manufacturing for construction. *Automation in construction*, 16(2), 224-231.

CAN. H. Z, MISIRLI. A, KARA.S, SEFEROGLU. G, SAHIN. N., et AKSOY. U. (2001, MAY). Fig (*Ficus carica* L.) selection study for fresh market in western Turkey. In *II International Symposium on Fig 605* (pp. 197-203).

CHEN. C. Y, GHERZI. R, ONG. S. E, CHAN. E. L, RAIJMAKERS. R, PRUIJN. G. J, et KARIN. M. (2001). AU binding proteins recruit the exosome to degrade ARE-containing mRNAs. *Cell*, 107(4), 451-464.

CHOU. H, HUANG.C, WANG. C, CHIANG. H., ET LO. C. (1995). Pathogenicity of a baculovirus infection causing white spot syndrome in cultured penaeid shrimp in Taiwan. *Diseases of aquatic organisms*, 23(3), 165-173.

DAVIS. A. P, GRONDIN. C. J, LENNON-HOPKINS .K, SARACENI-RICHARDS. C, SCIAKY. D, KING. B. L., et MATTINGLY. C. J. (2015). The Comparative Toxicogenomics Database's 10th year anniversary: update 2015. *Nucleic acids research*, 43(D1), D914-D920.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ELHALIL. A, ELMOUBARKI. R, FARNANE. M, MACHROUHI. A, SADIQ. M, MAHJOUBI. F. Z., et BARKA. N. (2018).** Photocatalytic degradation of caffeine as a model pharmaceutical pollutant on Mg doped ZnO-Al₂O₃ heterostructure. *Environmental nanotechnology, monitoring & management*, 10, 63-72.
- FABBRICIANI. C, MILANO. G, DEMONTIS. A, FADDA. S, ZIRANU. F., ET MULAS. P. D. (2004).** Arthroscopic versus open treatment of Bankart lesion of the shoulder: a prospective randomized study. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*, 20(5), 456-462.
- FOURNIER P. (1954).** «Les cactées et les plantes grasses», ed. 2eme edition, paris, p. lechevalier, p.113.
- FRANCOIS. L. E, MAAS. E. V, DONOVAN. T. J., ET YOUNGS. V. L. (1986).** Effect of Salinity on Grain Yield and Quality, Vegetative Growth, and Germination of Semi-Dwarf and Durum Wheat1. *Agronomy Journal*, 78(6), 1053-1058.
- FRANCO-SALAZAR. V. A., ET VELIZ. J. A. (2007).** Respuestas de la tuna [Opuntia ficus-indica (L.) Mill.] al NaCl. *Interciencia*, 32(2), 125-130.
- GAFNI. O, WEINBERGER. L, MANSOUR. A. A, MANOR. Y. S, CHOMSKY. E, BEN-YOSEF. D., ET HANNA. J. H. (2013).** Derivation of novel human ground state naive pluripotent stem cells. *Nature*, 504(7479), 282-286.
- GARLAND. F. C, GARLAND. C. F, GORHAM .E. D., et YOUNG. J. F. (1990).** Geographic variation in breast cancer mortality in the United States: a hypothesis involving exposure to solar radiation. *Preventive medicine*, 19(6), 614-622.
- GOMEZ-CADENAS.A, ARBONA.V, JACAS. J, PRIMO-MILLO. E., et TALON. M. (2002).** Abscissic acid reduces leaf abscission and increases salt tolerance in citrus plants. *Journal of Plant Growth Regulation*, 21(3), 234-240.
- GREENWAY. H., et MUNNS. R. (1980).** Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. *Annual review of plant physiology*, 31(1), 149-190.
- HABIBI. Y. (2004).** Contribution à l'étude morphologique, ultrastructurale et chimique de la figue de barbarie. les polysaccharides pariétaux: caractérisation et modification chimique (doctoral dissertation, université joseph-fourier-grenoble i).
- HADJ KOUIDER .B, LALLOUCHE. B, BOUTEKRABT .A, BEN ROMDHANE .M, ZOGHLAMI. N. (2021).** Epigenetic evaluation in algerian

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

opuntia species under salt stress. *Natural Resources and Sustainable Development* 11(1). DOI: 10.31924/nrsd.v11i1.067.

HADJ KOUIDER B. (2018). «Etude du polymorphisme phénotypique et moléculaire et essai de régénération in vitro de quelques espèces d'opuntia (sous genre platyopuntia) existantes dans les steppes algérienne», thèse de doctorat, univ. Blida ; 169P.

HADJ KOUIDER.B, LALLOUCHE.B. (2022). « La culture d'opuntia dans les zones steppiques constat et perspectives ». Conférence nationale protection des plantes et préservation des milieux naturels steppiques (CNPPPMNS22).

HADJKOUIDER. B, BOUTEKRAÏT. A, LALLOUCHE. B, LAMINE. S., et ZOUGHLAMI. N. (2017). Polymorphism analysis in some Algerian Opuntia species using morphological and phenological UPOV descriptors. *Botanical Sciences*, 95(3), 391-400.

HADJKOUIDER. B, BOUTEKRAÏT.A, LALLOUCHE. B, LAMINE. S., et ZOUGHLAMI. N. (2017). Polymorphism analysis in some Algerian Opuntia species using morphological and phenological UPOV descriptors. *Botanical Sciences*, 95(3), 391-400.

HANANA. M, CAGNAC. O, ZARROUK. M. et BLUMWALD. E. (2009). Rôles biologiques des antiports vacuolaires NHX : acquis et perspectives d'amélioration génétique des plantes. *Botany*, 87(11), 1023-1035.

HANANA. M, HAMROUNI. L, CAGNAC. O., et BLUMWALD. E. (2011). Mécanismes et stratégies cellulaires de tolérance à la salinité (NaCl) chez les plantes. *Environmental Reviews*, 19(NA), 121-140.

HARTANI.T, DOUAOUI. A., et KUPER. M. (2008). Economies d'eau en systèmes irrigués au Maghreb, May, Mostaganem, Algeria.

HCDS. (1998). 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.

HCDS. (1998). La culture du cactus : situation actuelle et perspective de son développement. 12 P.

HCDS. (2005). «La situation actuelle des parcours», Document de l'HCDS de Djelfa.

HOLMLIN. R. E, ISMAGILOV. R. F, HAAG. R, MUJICA. V, RATNER. M. A, RAMPI. M. A., et WHITESIDES. G. M. (2001). Correlating electron transport and

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

molecular structure in organic thin films. *Angewandte Chemie International Edition*, 40(12), 2316-2320.

JABNOUNE. M. (2009). Adaptation des plantes au stress salin : caractérisation de transporteurs de sodium et potassium de la famille HKT chez le riz (Doctoral dissertation, Montpellier Sup Agro).

JACKAI. L. E. N, PADULOSI, S., et NG. Q. (1996). Resistance to the legume pod borer, *Maruca vitrata* Fabricius, and the probable modalities involved in wild *Vigna*. *Crop Protection*, 15(8), 753-761.

JACOBY. H. G. (1994). Borrowing constraints and progress through school: Evidence from Peru. *The Review of Economics and Statistics*, 151-160.

JIANG.C, WOLVERTON.C, SOFO. J, CHEN.L. Q., et LIU.Z. K. (2004). First-principles study of binary bcc alloys using special quasirandom structures. *Physical Review B*, 69(21), 214202.

JUÀREZ. M.C., et PASSEEA. C.B. (2002). «Propagation in vitro d'ellisiana Griff. Et acclimatation d'Opuntia aux états de champ», Biocell-ISSN0327-9545 version nimpresa, Biocell v.26 N°3 Mendoza Argentine, p.10

KADIK. B. (1974). Les plantations sem-forestières et leurs possibilités dans l'aménagement pastorale. *INRAA*, 90 P.

KENNY. B, DEVINNEY. R, STEIN. M, REINSCHIED. D. J, FREY. E. A., et Finlay. B. B. (1997). Enteropathogenic *E. coli* (EPEC) transfers its receptor for intimate adherence into mammalian cells. *Cell*, 91(4), 511-520.

KENNY.D.A., et DEPAULO. B. M. (1993). Do people know how others view them? An empirical and theoretical account. *Psychological bulletin*, 114(1), 145.

KHAN. A. A, JILANI. G, AKHTAR. M. S, NAQVI. S. M. S., et RASHEED. M. (2009). Phosphorus solubilizing bacteria: occurrence, mechanisms and their role in crop production. *J agric biol sci*, 1(1), 48-58.

KHOURI. M.S. (1970). «Opuntias, bilan écologique en Algérie», INRA et CAREF, Janv. p.59

KIM. D. E, KIM. M. H, CHA .J. E., et KIM. S. O. (2008). Numerical investigation on thermal-hydraulic performance of new printed circuit heat exchanger model. *Nuclear Engineering and Design*, 238(12), 3269-3276.

KOU. H. Z, BU. W. M, GAO. S, LIAO.D. Z, JIANG.Z. H, YAN. S. P.,et WANG.G. L. (2000). Reactions between macrocyclic nickel (II) complexes and

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ferricyanide. Metamagnetic properties of a two-dimensional honeycomb assembly [NiL 3] 3 [Fe (CN) 6] 2· 8H 2 O (L 3= 3, 10-dihydroxyethyl-1, 3, 6, 8, 10, 12-hexaazacyclotetradecane). *Journal of the Chemical Society, Dalton Transactions*, (17), 2996-3000.

KRONIEWICZ. L. (2011). Caracterisation physiologique et fonctionnelle du transporteur anionique ATCLC-C chez *Arabidopsis Thaliana* (Doctoral dissertation, Aix-Marseille 2).

LALLOUCHE. B. (2008). Hybridation de l'opuntia ficus indica mill. f. inermis par quatre especes d'opuntia (o. robusta var. robusta ; o. engelmanni var... (Doctoral dissertation, Blida).

LALLOUCHE. B. (2018). Etudes des marqueurs morphologiques, biochimiques et moléculaires des géotypes d'opuntia, en relation avec le développement dans des conditions de stress salin.

LE DUGOU. A, BORGARD .J. M, LAROUSSE. B, DOIZI. D, ALLEN. R, EWAN. B. C., et BAUDOUIN. O. (2007). hytec: an EC funded search for a long term massive hydrogen production route using solar and nuclear technologies. *International journal of hydrogen energy*, 32(10-11), 1516-1529.

Le petit Larousse illustré. Larousse (2007), 1811.

LECLERC. J.C. (1999). «Ecophysiologie végétale», Publication de l'université de Saint- Etienne, p. 277.

LEKOVIC. V, KENNEY. E. B, WEINLAENDER. M, HAN. T, KLOKKEVOLD. P, NEDIC. M., et ORSINI. M. (1997). A bone regenerative approach to alveolar ridge maintenance following tooth extraction. Report of 10 cases. *Journal of periodontology*, 68(6), 563-570.

LEVIGNERON. A, LOPEZ. F, VANSUYT. G, BERTHOMIEU. P, FOURCROY. P., et CASSE-DELBART. F. (1995). Les plantes face au stress salin. *Cahiers Agricultures*, 4(4), 263-273.

MÄKI. J. M, RÄSÄNEN.J, TIKKANEN. H, SORMUNEN. R, MÄKIKALLIO. K, KIVIRIKKO. K. I., et SOININEN. R. (2002). Inactivation of the lysyl oxidase gene *Lox* leads to aortic aneurysms, cardiovascular dysfunction, and perinatal death in mice. *Circulation*, 106(19), 2503-2509.

MASDOR. N, ABD SHUKOR. M. S, KHAN.A, HALMI. M, ABDULLAH. S. R. SHAMAAN. N. A., et SHUKOR, M. Y. (2015). Isolation and characterization of a

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

molybdenum reducing and SDSdegrading *Klebsiella oxytoca* strain Aft-7 and its bioremediation application in the environment. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 16(2).

MERMOUD, F. (2006). Gazéification de charbon de bois à la vapeur d'eau : de la particule isolée au lit fixe continu (Doctoral dissertation).

MONJAUZE. A., et LE HOUEROU. H. N. (1966). Le rôle des *Opuntia* dans l'économie agricole Nord-Africaine.

MUNNS. R, SCHACHTMAN.D. P., et CONDON. A. G. (1995). The significance of a two-phase growth response to salinity in wheat and barley. *Functional Plant Biology*, 22(4), 561-569.

MUNNS. R. (1993). Physiological processes limiting plant growth in saline soils: some dogmas and hypotheses. *Plant, Cell & Environment*, 16(1), 15-24.

MUNNS. R. (2002). Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, cell & environment*, 25(2), 239-250.

MUNNS. R., et TESTER. M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual review of plant biology*, 59, 651.

MURILLO-AMADOR. B, TROYO-DIÉGUEZ. E, LOPEZ-CORTES. A, JONES. H. G, AYALA-CHAIRES. F., et TINOCO-OJANGUREN. C. L. (2001). Salt tolerance of cowpea genotypes in the emergence stage. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 41(1), 81-88.

MUSICK.J. A, et BONFIL.R. (EDS.). (2005). Management techniques for elasmobranch fisheries (No. 474). *Food & Agriculture Org.*.

NEFZAOUI. A.,et BEN SALEM. H. (2000). «Cacti: efficient tool for rangeland rehabilitation, drought mitigation and to combat desertification», Proceedings of the fourth international congress on Cactus pear and Cochineal. *Acta Horticulturae*, 581.Hamamet, Tunisia, 22-28 October 2000.

NOBEL P.S.1995: biologie environnement. dans : agro-ecologie, culture et utilisations figuier de barbarie, *fao plant production and protection pare*, n° 18, pp 36 -48.

NOBLE.C. L., et ROGERS. M. E. (1992). Arguments for the use of physiological criteria for improving the salt tolerance in crops. *Plant and soil*, 146(1), 99-107.

PARIDA.A, DAS. A. B., et DAS. P. (2002). NaCl stress causes changes in photosynthetic pigments, proteins, and other metabolic components in the leaves of a

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

true mangrove, *Bruguiera parviflora*, in hydroponic cultures. *Journal of Plant Biology*, 45(1), 28-36.

PINEIRO.M, ASP. N. G, REID. G, MACFARLANE. S, MORELLI. L, BRUNSER. O, et TUOHY. K. (2008). FAO Technical meeting on prebiotics. *Journal of clinical gastroenterology*, 42, S156-S159.

RAHNESHAN.Z, NASIBI. F., et MOGHADAM.A. A. (2018). Effects of salinity stress on some growth, physiological, biochemical parameters and nutrients in two pistachio (*Pistacia vera* L.) rootstocks. *Journal of plant interactions*, 13(1), 73-82.

RAI, A., & NABTI, E. (2017). Plant growth-promoting bacteria: importance in vegetable production. In *Microbial strategies for vegetable production* (pp. 23-48). Springer, Cham.

REBOURS. H (1968). «FRUITS MEDITERRANEENS AUTRES QUE LES AGRUMES», MAISON RUSTIQUE. PARIS, 1968, P.207

SEJURO.N.O.(1990). «PLANTAS MEDICINALS UTILIZADAS POR LOS CURANDEROS DE NASCA», 2ND ED. BOLETIN D'INVESTIGACION EN TECNOLOGIAS. NATIVAS 5, (1990).

SHWEIZER .M. (1997). «DOCTEUR NOPAL LE MEDECIN DU BON DIEU», APB, ED.3^{EME} TRIMESTRE, FRANCE, (1997), 81.

Silverman, K. (1988). The acoustic mirror: The female voice in psychoanalysis and cinema. *Indiana University Press*.

SOBERON.J, GOLUBOV.J. , et SARUKHAN. J. (2001). The importance of *Opuntia* in Mexico and routes of invasion and impact of *Cactoblastis cactorum* (Lepidoptera: Pyralidae). *Florida Entomologist*, 486-492.

STOJDL. D. F., et BELL. J. C. (1999). SR protein kinases: the splice of life. *Biochemistry and cell biology*, 77(4), 293-298.

Sudzuki. H.F. (1995) «Anatomy and morphology», In: Barbera. G, Inglese. P et Pimienta. B.E, (Eds.). Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear. FAO. Rome Italy, 1995, pp 28 - 35.

TAL.A, BAVILSKI.C, YOHAID, BEARMAN. J. E, GORODISCHER.R. , et MOSES. S. W. (1983). Dexamethasone and salbutamol in the treatment of acute wheezing in infants. *Pediatrics*, 71(1), 13-18.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- TEMAGOULT A. (2017)** 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.
- UPOV. (2004)** «Figuier de Barbarie et Xoconostles (*Opuntia*, groupe 1 et 2), principes directeurs pour la conduite de l'examen de la distinction, de l'homogénéité et de la stabilité», TG/217/1, Genève, Mars 2004, p. 31.
- VAN DER MOEZEL.P. G, WATSON.L. E, PEARCE-PINTO.G. V. N., et BELL.D. T. (1988).** The response of six *Eucalyptus* species and *Casuarina obesa* to the combined effect of salinity and waterlogging. *Functional Plant Biology*, 15(3), 465-474.
- WANG. D, WAGNER. M, BUTT. H. J., et WU. S. (2015).** Supramolecular hydrogels constructed by red-light-responsive host–guest interactions for photo-controlled protein release in deep tissue. *Soft Matter*, 11(38), 7656-7662.
- WILLIS. K, SCARPA. R, GILROY. R, et HAMZA. N. (2011).** Renewable energy adoption in an ageing population: Heterogeneity in preferences for micro-generation technology adoption. *Energy Policy*, 39(10), 6021-6029.
- YAMAGUCHI.T., et BLUMWALD. E. (2005).** Developing salt-tolerant crop plants: challenges and opportunities. *Trends in plant science*, 10(12), 615-620.
- YOOYONGWECH .S.(2013).**arbuscular mycorrhiza improved growth performance in macadamia tetraphylla l. grown under water deficit stress involves soluble sugar and proline accumulation. *Plant growth regulation*, 69(3), 285-293.
- YOUSFI. S. (2000).** «Les cactées, opuntia ficus indica rapport bibliographique sur les opuntias et bilan de quelques études en algérie», *inra, algérie, octobre 2000, p.17*
- ZHANG.Z. K, CHO.M. C. Y, WANG.C. W, HSU. C. W, CHEN. C. K., et SHIEH.S. (2014, NOVEMBER).** IoT security: ongoing challenges and research opportunities. In *2014 IEEE 7th international conference on service-oriented computing and applications (pp. 230-234). IEEE.*
- ZID. E., et GRIGNON. C. (1991).** Les tests de sélection précoce pour la résistance des plantes aux stress. Cas des stress salin et hydrique. In *L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides, deuxièmes journées scientifiques du réseau Biotechnologies végétales, Tunis, 4-9 décembre 1989 (pp. 91-108).*

ANNEXE

Tableau 01 : Analyse de variance du Poids frais (g)

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	98,993	17	5,823				
VAR.FACTEUR 1	96,952	5	19,39	113,998	0		
VAR.RESIDUELLE 1	2,041	12	0,17			0,412	22,04%

Tableau 02 : Analyse de variance du Poids sec (g)

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	22,061	17	1,298				
VAR.FACTEUR 1	22,016	5	4,403	1184,751	0		
VAR.RESIDUELLE 1	0,045	12	0,004			0,061	7,17%

Tableau 03 : Analyse de variance de nombres d'aricles enracinés (g)

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	220	17	12,941				
VAR.FACTEUR 1	208	5	41,6	41,6	0		
VAR.RESIDUELLE 1	12	12	1			1	2,26%

Tableau 04: Analyse de variance de la Longueur de racine la plus longue (cm)

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	601,84	17	35,402				
VAR.FACTEUR 1	595,78	5	119,156	235,953	0		
VAR.RESIDUELLE 1	6,06	12	0,505			0,711	12,18%

Tableau 05: Analyse de variance de Nombres des racines

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	1670,5	17	98,265				
VAR.FACTEUR 1	1658,5	5	331,7	331,7	0		
VAR.RESIDUELLE 1	12	12	1			1	5,61%