

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université Blida1
Faculté des Sciences de la nature et de la vie
Département de biotechnologie



Projet de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master Académique en Agronomie
Option : Agro-ressources et impact environnemental

Thème :
Effet des stress abiotiques: salin et hydrique sur le comportement des
plantules du pistachier de l'Atlas : *Pistacia atlantica Desf.*

Présenté par: ^{Mr} **SACI HACHEM**

Devant le jury :

BENMOUSSA M.	Professeur	UB1	Président
CHAOUIA C.	Maître de conférences(A)	UB1	Promotrice
OUKARA F.Z .	Attachée de recherché	INRF	Co-promotrice
BENREBIHA F.Z.	Professeur	UB1	Examineur

2015/2016

REMERCIEMENTS

Je remercie DIEU le tout puissant de m'avoir donné la force et la santé afin d'accomplir ce modeste travail.

Je tiens à exprimer ma gratitude et mes sincères remerciements à ma promotrice M^{me} CHAOUIA ainsi qu'à ma Co-promotrice M^{me} OUKARA F/Z de bien vouloir nous encadrer, pour avoir suivi attentivement la progression de notre travail et pour leurs conseils et leurs patiences.

Je remercie vivement M^r BENMOUSSA qui nous a fait l'honneur de présider le jury.

Mes remerciements aussi à M^{me} BENREBIHA pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Nous exprimons notre reconnaissance aux techniciennes du laboratoire de physiologie végétale et amélioration des plantes M^{me} GHANIA et M^{elle} ZAKIYA.

Enfin, Je tiens à remercier toute personne ayant participé de loin ou de près à la réalisation de ce modeste mémoire.

Je présente mes profondes gratitude et vifs remerciements à mes très chers parents pour leurs encouragements, leur patience et leurs sacrifices, pour leur soutien moral et financier, pour tout ce qu'ils nous ont offert pour être enfin ce que nous sommes.

Ainsi qu'à toute la promotion 2015/2016

Dédicace

Ce modeste mémoire est dédié :

A mes très chers parents pour leur amour et leurs sacrifices.

A mon frère et mes sœurs ainsi qu'à toute ma famille.

A mes amis : Nesrine ,Yessmine,, trk , Khouloud, Ayoub et Momo

Je le dédie aussi à mon très cher neveu Aness

Résumé

L'étude du comportement morpho-physiologique et biochimique des plantules du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) en conditions difficiles (stress salin et hydrique) a montré que les plantules irriguées par l'eau saline de concentration 3, 6, 9 et 12 g/l de NaCl durant 15 jours manifestent des variations importantes. La concentration de 3 g/l de NaCl a stimulé la croissance des plantules du pistachier avec une longueur moyenne de la tige atteignant 11.83 cm pour l'écotype Médéa et de 10.16 pour l'écotype Djelfa. Au-delà de cette concentration (3g/l), la longueur de la plante diminue jusqu'à atteindre une valeur minimale de 9 cm chez les plantules stressées par 12g/l.

L'étude de la croissance des plantes a été complétée par le dosage des chlorophylles (a) et (b). Le taux de la chlorophylle (a) augmente pour les traitements T_{M_2} et T_{D_0} 0.56 et 0.8 $\mu\text{g/gMF}$. Le taux de la chlorophylle b est stimulé en présence de 3g/l de NaCl par la suite il diminue en fonction de la concentration de sel. L'accumulation des osmorégulateurs, en l'occurrence la proline a augmenté en fonction de l'augmentation de l'intensité du stress la valeur varie entre 0.3 $\mu\text{g/gMF}$ pour le témoin et 1.18 $\mu\text{g/gMF}$ chez les plantules stressées par 12g/l. L'accumulation des sucres solubles dans les feuilles pour les plantules augmente progressivement avec l'intensité du stress salin jusqu'à atteindre une valeur maximale de 1.35 $\mu\text{g/gMF}$.

Concernant le stress hydrique, l'application d'un arrêt d'arrosage de 15 jours a montré une grande résistance de l'espèce à la sécheresse manifestée par le développement d'un appareil aérien et racinaire important. Le taux de la chlorophylle (a) et (b) est stimulé après 5 jours et 15 jours de stress respectivement. La teneur en sucre soluble a augmenté en fonction de l'intensité de stress hydrique. La valeur proline est d'une moyenne de 1.50 $\mu\text{g/gMF}$ pour l'écotype Médéa durant de 15 jours.

Mots clés : *Pistacia atlantica*, Stress salin, Stress hydrique, Chlorophylles, Proline

ABSTRACT

The study of morpho-physiological and biochemical behavior of the seedling of the pistachio tree of Atlas (*Pistacia atlantica* Desf) in difficult conditions (saline and hydrous stress) showed that the seedlings irrigated by water salworks of concentration 3,6,9 and 13 g/l of NaCl during 15 days express important variations .

The concentration of 3g/l NaCl stimulated the growth of seedlings of the pistachio tree with an average length of the stem reaching 11.83 cm for the Médéa ecotype and 10.16 for the Djelfa ecotype, beyond the concentration (3g/l), the length of the plant ceases until reaching a minimal value of 9cm at the seed by 12 g/l .The study of the growth of plants was supplemented by the proportioning of chlorophylls (a) and (b). the rate chlorophyll (a) increases for the treatments TM₂ and TD₀ (0.56 and 0.8 µg /g MF).

The rate of chlorophyll (b) and stimulated in the presence of 3g/l NaCl then after it decreases according to the salt concentration, the accumulation of the osmoregulators in fact the proline increased according to the increase in the intensity of the stress value varies between 0.3 µg /g MF for the witness and 1.18 µg /g MF at the seedlings stressed by 12 g/l .the accumulation of soluble sugars in the sheets for the seedlings increases gradually with the intensity of the saline stress until expecting a maximum value of 1.35 µg /g MF.

The hydrous stress, the application of a stop at 15 days watering showed a great resistance of the species to the drought expressed by the development of device air and racinair important

The rate of chlorophyll (a) and (b) is stimulated after 5 days and 15 days of stress respectively .the sugar content soluble increased according to the hydrous intensity of stress .the value proline is an average of 1.50 µg /g MF for the Médéa ecotype lasting 15 days.

Keywords: *Pistacia atlantica*, saline Stress, hydrous Stress, Chlorophylls, soluble Proline, sugars

SOMMAIRE

INTRODUCTION	1
--------------------	---

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LE PISTACHIER DE L'ATLAS

1-Historique et Origine du PISTACHIER de L'ATLAS.....	4
2- Systématique.....	4
3-Description de la plante.....	5
4-Repartition Géographique du PISTACHIER de L'ATLAS.....	9
5-Caractéristique écologiques et édaphiques de l'espèce.....	11
6-Interet de l'espèce.....	13
7- Régénération du pistachier.....	14

CHAPITRE II : STRESS

1-Notion de stress.....	17
2-Stress et la plante.....	17
3-Perseption du stress.....	18

I STRSS SALIN :

1-Role du calcium.....	19
2-Stress salin et l'absorption.....	19
3-Effet du Stress salin sur la translocation.....	20
4-Stress salin sur la photosynthèse.....	20
5-Stress salin sur la croissance et le développement.....	21
6-Effets toxiques de NaCl sur la plante.....	21
7-Stress osmotique.....	22
8-Stress ionique.....	22
9-Stress nutritionnel.....	23
10- Stress oxydatif.....	23

11-Mécanismes de la tolérance des plantes au stress salin.....	24
12-Accumulation de la proline.....	24
13-Accumulation des composés inorganiques.....	26

II :STRESS HYDRIQUE

1-Notion de stress.....	27
-------------------------	----

II NOTION DE STRESS :

2-Le stress hydrique et la plante.....	27
3-Effet du stress hydrique sur le développement des plantes.....	28
4-Mécanisme d'adaptation a la sécheresse.....	29

CHAPITRE III : MATERIEL ET METHODES

1-Objectif de travail.....	36
2-Site expérimental.....	36
3-Materiel végétal et conditions de culture.....	36
4- Préparation des graines.....	36
5- Stade germinatif.....	37
6-Etude du stress au stade plantule.....	37
7-Dispositif expérimental.....	38
8-Paramètres d'étudiés.....	40

RESULTATS ET DISCUSSION

1-Effet du stress salin sur les paramètres morphologiques.....	44
2-Effet du stress salin sur les paramètres physiologiques.....	52
3-Effet du stress salin sur les paramètres biochimiques.....	55
4-Effet du stress hydrique sur les paramètres morphologiques.....	58
5-Effet du stress hydrique sur les paramètres physiologiques.....	64
6-Effet du stress hydrique sur les paramètres biochimiques.....	67

<u>CONCLUSION</u>	71
<u>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</u>	74
<u>ANNEXES</u>	82

LISTE DES ABREVIATIONS

ATP : Adénosine Triphosphate

meq : Milliéquivalent.

µg: Microgramme..

NaCl: Chlorure de sodium.

pF : Point de Flétrissement.

Pr : Poids à saturation,

ROS : Reactive Oxygen Species

SOS : Salt Overly Sensitive

TRE : Teneur relative en eau.

LISTE DES FIGURE

Figure 1 : Peuplement de pistachier de l'Atlas (Région de Aïn Oussara).....	5
Figure 2 : Feuilles composées de <i>Pistacia atlantica</i> Desf.....	6
Figure 3 : Fleurs du pistachier de l'Atlas.....	7
Figure 4: Fruits immature du pistachier de l'Atlas.....	7
Figure 5 : fructification de la graine du pistachier de l'Atlas(x20).....	8
Figure 6 : Aire de répartition du pistachier de l'Atlas en région méditerranéenne.....	10
Figure 7 : Répartition du pistachier de l'Atlas en Algérie et en Tunisie.....	11
Figure8 : Régénération de pistachier de l'Atlas dans les touffes du jujubier.....	14
Figure 9: Perception et traduction du signal par la plante.....	18
Figure 10: Toxicité de la plante par le NaCl.....	21
Figure 11 : Production de la biomasse de différents groupes.....	24
Figure 12 : Rôle de la proline dans la protection des protéines en présence de NaCl.....	25
Figure 13 : Biosynthèse de la proline.....	26
Figure 14 : Germination des graines	37
Figure 15 : Mise en place dans la serre.....	38
Figure 16 : Dispositif expérimental adopté pour le stress salin au stade plantule	39
Figure 17 : Dispositif expérimental adopté pour le stress hydrique au stade plantule	39
Figure 18 : Dispositif expérimental adopté pour le stress salin au stade plantule	39
Figure 19 : Dispositif expérimental adopté pour le stress hydrique au stade plantule	39
Figure20 : Comparaison des plantules de <i>Pistacia atlantica</i> de la région de Djelfa TD ₀ 0g/l et TD ₂ 6g/l.....	44
Figure21 : Longueur des tiges (cm) du <i>Pistacia atlantica</i>	44
Figure 22 : Comparaison des plantules du <i>Pistacia atlantica</i> soumise à une concentration de NaCl de 0g /l, 3g/l et 6g/l.....	45
Figure 23 : Longueur des racines (cm) du <i>Pistacia atlantica</i>	46
Figure 24 : Nombre de feuilles des plantules de <i>Pistacia atlantica</i>	47

Figure 25 : Biomasse fraîche de la partie aérienne.....	48
Figure 26 : Poids frais (g) des racines de plantes de <i>Pistacia atlantica</i>	48
Figure 27 : Biomasse sèche de la partie aérienne.....	49
Figure 28 : Poids sec (g) des racines de plantules de <i>Pistacia atlantica</i>	50
Figure 29 : Dessèchement des plantules de <i>Pistacia atlantica</i> (Après 15 jours du stress à 12g/l de NaCl).....	50
Figure30 : Teneur Relative en eau des feuilles des plantules.....	52
Figure 31 : Teneur en chlorophylles (a) en fonction de l'intensité du stress salin	53
Figure 32 : Teneur en chlorophylles (b) en fonction de l'intensité du stress salin.....	53
Figure 33 : Teneur en proline en fonction de l'intensité du stress salin.....	55
Figure 34 : Teneur en sucres solubles en fonction de l'intensité du stress salin.....	56
Figure35 : Effet du stress hydrique sur la longueur de la tige (cm).....	58
Figure36 : Effet du stress hydrique sur la longueur de racine (cm)	59
Figure37 : Effet du stress hydrique sur le nombre de feuilles.....	59
Figure38 : Effet du stress hydrique sur la biomasse fraîche de la partie aérienne.....	60
Figure39 : Effet du stress hydrique sur la biomasse fraîche de la partie souterraine.....	61
Figure 40 : Effet du stress hydrique sur la biomasse sèche de la partie aérienne.....	61
Figure 41 : Effet du stress hydrique sur la biomasse sèche de la partie souterraine.....	61
Figure 42 : Effet du stress hydrique sur la teneur relative en eau (TRE).....	64
Figure 43 : Effet du stress hydrique sur la teneur en chlorophylle (a).....	65
Figure 44 : Effet du stress hydrique sur la teneur en chlorophylle (b).....	66
Figure 45 : Effet du stress hydrique sur la teneur en proline.....	67
Figure 46 : Teneur en sucres solubles en fonction de l'intensité du stress hydrique.....	68

INTRODUCTION

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

A

- **Abdel Guerfi. A et Laouar. M., (2004)** Le frêne (*Fraxinus* spp) et le pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica*) - Ecologie et utilisation en Algérie. Rapport MERS (Algérie) 60 P.
- **Ait Radi A., (1979)** Multiplication par voie végétative et par semis de *Pistacia atlantica* et *Atlantus altissima*. Mem. Ing. I.N.A El Harrach Alger. 40 P.
- **Ait Said S., (2003)** Etude biosystème et évolution adaptative de *Pistacia atlantica* Desf – Cas de deux populations dans la région de Djelfa. Mém. Magister I.N.A. El Harrach, Alger. 113P.
- **Albouchi A., Bézaoui Z., Hédi El Aouni M., 2003:** Influence of moderate or severe water stress on the growth of *Casuarina glauca* Sieb. Seedlings. Sécheresse, 14, (3), PP 137-142.
- **Aleta N.; NINOT A.; ROUSKAS D.; ZAKINTHINOS G.; AVANZATO D. et MENDES GASPAS A., (1997)** La multiplication du Pistachier. Rev. Option méditerranéenne Amélioration d'espèces à fruits à coques noyer, Pistachier série B: Etudes et recherches N°16 Germain E. PP. 121-132.
- **Alyafi J., (1979)** Approche systématique et écologiques du genre *Pistacia* dans la région méditerranéenne-Thèse de 3ème cycle Faculté des sciences technologiques de ST-JEROME. Marseille 120P.
- **Anonyme, (1999)** Délimitation des zones à vocation pistachier au Maroc .Bulletin de liaison du programme national de transfert de technologie en agriculture (Maroc).
- **Anonyme, (2000):** La résistance des plantes à la sécheresse INRA Direction de l'information et de la communication. Paris Cedex 7.
- **Anonyme, (2008):** <http://tous-les-fruits.com/photos/tropique/photo-1306.html>
- **Anonyme, (2010):** <http://tous-les-fruits.com/photos/tropique/album-243.html>
- **Anonyme, (2012):** http://www.panoramio.com/user/2993197?with_photo_id=75598698

B

- **Benhassaini H., Fetati A., Amar Kaddour H., Belkhodja M., (2012):** Effect of salt stress on growth and accumulation of proline and soluble sugars on plantlets of

Pistacia atlantica Desf. sub sp. *atlantica* used as rootstocks. *Rev. Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* **16**(2), PP159-165

- **Boudy P., (1952)** - Guide du forestier en Afrique du nord. La maison rustique, Paris. 509 P.
- **Boudy P., (1955)** Économie forestière nord-africaine. Tome IV : Description forestière de l'Algérie. Edition Larose, Paris, 483 P.
- **Bluma A. 1996.** Crop responses to drought and the interpretation of adaptation plant growth regulation. 20: 135 - 148 P.
-
- **Bousba R., Ykhlef N. and Djekoun A. 2009.** Water use efficiency and flag leaf photosynthetic in response to water deficit of durum wheat (*Triticum durum* Desf). *World Journal of Agricultural Sciences* 5. 5: 609 -616 P.
- **.Belhadj S., (1999)** Les pistacheraies algériennes : Etat actuel et dégradation. *Revue du CIHEAM, Saragosse, Espagne* N°8. 30 P.
- **Brousse G., (1974)** Etude bibliographique sur la culture du pistachier polycopie. I.N.A El Harrach. 40 P.

C

- **Cheikh M'hamed H. Abdellaoui R. Kadri K. Ben Naceur M.S. Bel Hadj S., (2008)** Evaluation de la tolérance au stress salin de quelques accessions d'orge (*hordium vulgare*l.) cultivées en tunisie : approche physiologique. *Rev. Sciences& Technologie C* – N°28 PP.30 -37.
- **Cechin I., Rossi S.C., Oliveira V.C. & Fumis T.F. 2006.** Photosynthetic responses and proline content of mature and young leaves of sunflower plants under water deficit. *PHOTOSYNTHETICA* .**44** (1): 143-146 P
- **Chier R., (1982)** Les plants médicinaux Edition, Solon, 235P.
- **Clarck and Mac-Caig. 1982.** Excised leaf water relation capability as an indicator of drought resistance of *Triticum* genotypes. *Can.J . Plant Sci.* 62: 571-576 P.

D

- **Denden N M., Bettaieb T., Salhi A., Mathlouthi M., (2005):** Effet de la salinité sur la fluorescence chlorophyllienne, la teneur en proline et la production florale de trois espèces ornementales, *Tropicultura*, Vol. 23, No. 4 : PP 220-225.
- **Demarteau M., (2005)** Réponse de *Cedrusatl antica* aux changements climatiques passés et futurs. Diplôme de Licence en sciences géologiques, Université de Liège, France, PP 2.

E

- **El Jaafari S. 1993.** Contribution à l'étude des mécanismes biophysiques et biochimiques de résistance à la sécheresse chez le blé. Thèse de doctorat. Univ. Gembloux. Belgique: 214P.
- **El hendawy S. E. S., (2004)** Salinity tolerance in Egyptian Spring Wheat: thèse de Doctorat d'Etat. Université München, Allemagne, PP.1-13.
- **El Midaoui M., Benbella M., Ait Houssa A., Ibriz M., Talouizte A., (2007):** Contribution à l'étude de quelques mécanismes d'adaptation à la salinité chez le tournesol cultivé (*Helianthus annuus L.*). *Revue HTE* N°136.
- **Eliane Cristina G.V., Ivan S., Marcos P., Carloc A.S., Hugo Bruno C.M., Celso J.M. and Ellis R.J. 2007.** The molecular chaperone concept. *Semin. Cell Biol.* **1**: 1 - 9 P.

F

- **Ferryra R., Selleg G., Ruiz R.S. and Selles I.M. 2004.** Effect of water stress induced at different growth stages on grapevine cv. Chardonnay on production and wine quality. *Acta Hort.* 664: 233- 236P.
- **Francis; Bukard; Dlaska.,(1970)** flow networks and combinatorial. *Operations research* 5472.PP. 101-297.

G

- **Greenway H. et MUNNS R. (1980)** Mechanism of salt tolerance in non-halophytes. *Annual Review of Plant Physiology*. Vol. 3, PP. 149-190.

H

- **Harrouni M.R., 1995:** Transplantation des jeunes plantules d'arganier : effet combiné de techniques culturales et du stress hydrique. Acte des colloques internationaux la

forêt face à la désertification « cas des agrainerais ». Faculté de la science, Agadir, 115 – 33

- **Hadj ibrahim., (1993)** Le pistachier vrai, revue en arabe des études des zones arides et semi aride (ACSAD), Damas (Syrie) ,47P.
- **Hikosaka K., Ishikawa K ., Borjigidai A ., Muller O. and Onoda Y. 2006.** Temperature acclimation of photosynthesis: mechanisms involved in the changes in temperature dependence of photosynthetic rate. *J. Exp. Bot.* **57** : 291-302 P.

I

- **Ingram, J .,(1980).** les relations sol-végétation dans les steppes sud-algériennes, Trav , Doc, Orstom, PP : 5-10.

J

- **Joyce P.A., Aspinall D. and Paleg L.G. (1992).** Photosynthesis and the accumulation of proline in response to water deficit. *Aust. J. Plant physiol.*, **19**, 249 – 261.

k

- **Kaddour Hocine A., (2008):**Contribution à l'étude du comportement morpho physiologique et biochimique de *Pistacia atlantica* Desf.sp. *atlantica.*, stressée à la salinité. Thè. Mag. Université d'oran. P.59.
- **Kramer PJ, 1983 .**Water relation of plants.London :AcademicPressInc, 1983 ; 489 P.
- **Khichane M., (1988)** Etude de la morphogénèse et des rythmes de croissance des systèmes racinaires du jojoba (*Simmondsiachinencislink*) et du Pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica*Desf). Essais de production de plantes en pépinières. Th. INA. El Harrach 68P.
- **Khilil .A. Khellal, (1980)** Possibilité de culture et détermination des zones à vocation pistachier en Algérie. PP.177-185. Institut de recherche sur les fruits et agrumes FRULAS. vol. 35, N°3, PP. 137-202.
- **Koriga J., (2000)** Contribution à l'étude de la diversité génétique chez deux provenances de *Pistacia atlantica*Desf : utilisation des marqueurs morphologique au niveau des feuilles. Thèse d'ing.IAP.87P.

L

- **Le houerouH.N., (1995)** Bioclimatologie et biogéographie des steppes arides du nord de l'Afrique. (Diversité biologique, développement et désertification. Option médit, N° 10. 287P.

- **Lebone E., Pellegrio A., Tardieu F. ET Lecoœur J., (2004)** Shoot development in grapevine is affected by the modular branching pattern of the stem and intra and inter-shoot trophic competition. *Annals of Botany*. Vol. 93, PP 263 -274.

M.

- **Mougou A. 1984:**Évaluation de la résistance à la sécheresse par des paramètres morphologiques, écophysologiques et biochimiques chez plusieurs espèces de tomate. Thèse doc Ès-sciences, université de l'État à Gand, 1984 ; 208 P
- **MONJAUZE A., (1965)** Répartition et écologie de *Pistacia atlantica* Desf. En Algérie. ; *Bul. Sociol. Histoire naturelle de l'Afrique du nord*. T 56 . 128P.
- **Monjauze A., (1967)** Note sur la régénération du bétoum par semis naturels dans la place d'essai de Kefleffaa, Bull, Soc, Hist, Nat, Afr du nord, Fasc. vol. 34, 20P.
- **Monjauze A., (1968)** Note sur la régénération du Bétoum, par semis naturels dans la place d'essai de Keflafa. *Bul. Social. Histoire naturelle de l'Afrique du nord*. T 56. P8.
- **Monjauze A., (1968)** Répartition écologie de *Pistacia atlantica* Desf. En Algérie. ; *Bul. Sociol. Histoire naturelle de l'Afrique du nord*. Vol. 56, N°2, PP. 5-128.
- **Monjauze A., (1980)** connaissance du Bétoum (*Pistacia atlantica* Desf.). Rev. Fore. Franc. Biologie et forêt. N° 4. PP.357-363.
- **Morsli A., (1992)** Analyse de la floraison et de la structure sexuelle d'un peuplement de *Pistacia atlantica* Desf dans une daya de la région de Messad. I.N.A. Alger

N

- **Negre R., (1962)** npetit flore des régions arides du Maroc occidental. Tom II Ed. Centre nationale de la recherche scientifique, Paris, 566 P.

O

- **Oukara F.Z., Chaouia C., Assel A., (2014):** Effet du stress salin sur la germination des graines du pistachier de l'Atlas *Pistacia atlantica* Desf. Rev. Agrobiologie N 5 PP. 53-56.
- **Oudah H., (1982)** Contribution à l'étude des principales essences d'intérêt fourrager des régions semi-aride et aride d'Algérie. Application à quelques espèces. Thés. ING. INA. El Harrach, P. 96.
- **OUIS M., (2008)** Polymorphisme p^hrotéique chez *Atriplex halimus* L. sous stress salin et de déficit hydrique. Thèse de magister, Univ. d'Oran Algérie, P. 45.
- **Ozenda P., (1977)** Flore du Sahara. Editions CNRS. 622 P.
- **Ozenda P., (1991)** Flore et végétation du Sahara, Edition CNRS

P

- **Palmberg C., (1984)** Genetic resources of arboreal fuel wood species for improvement of rural living. Crop. Genetic resources: conservation and evaluation. London University. Plant. Sci .vol. 69, PP. 27-32.

Q

- **Quezel P., et Santa S., (1963)** Nouvelle flore de l'Algérie et des zones désertiques méridionales. Paris CNRS. 2 Tomes. 1170P.
- **Quezel P., Médail F., Loisel R., Barbero M., (1999)** Biodiversité et conservation des essences forestières du bassin méditerranéen. *Unasylva*. vol .50, PP. 21-8.
- **Quezel P.,(2000)** Réflexion sur l'évolution de la flore et de la végétation au Maghreb méditerranéen. Ibis press. 117P.

R

- **Rognon P., (1996)** sécheresse aridité, leur impact sur la désertification au Maghreb. Rev. Sécheresse.PP. 287-297.

S

- **Seigue A., (1985)** La forêt circum-méditerranéenne et ses problèmes. Maisonneuve et Larousse. Ed. Paris. 502 P
- **Spina P. et Pennis I F., (1957)** La culture du pistachier en Sicile. Rev. Ortofloro-fructiculti. Italie. PP. 533-557.
- **Siakhene N. 1984.** Effet du stress hydrique Sur quelques espèces de luzerne Annuelle.MémoireingAgr. INA. El Harrach: 90 P.
- **Sivarakrishnans S., Pattel V., Flower G., Peacock J., (1988):** Proline accumulation and nitrate reductase activity in contrasting sorghum lines during mid season drought stress. Plant Physiol, 74: PP 418-426.
- **Slayter R. 1974.** The effect of internal water status on plant growth development and yield In: plant responses to climatic factors .Proc.ofupsalsimpium, *Unesco*.
- **Soualem S., (2005):** Contribution à l'étude des comportements, morphophysiologiques ,anatomiques et biochimiques d'une halophyte, *Atriplexhalimus*L., stressé à la salinité. Thèse de Magister. Univ. Es-Senia. Oran, Algérie, 22-75p.

- **Savoure A., Jaoua S., HuaXuejun., Ardiles W., Van MontagM.andVerbruggen N. 1995.** isolation, characterization, and chromosomal location of a gene encoding the delta 1-pyrroline-5-carboxylate synthetase in *arabidopsis thaliana*. *febs letters*. **372**: 13 -19 P.
- **Stewart CR, Lee JA.** The role of proline accumulation in halophytes. *Planta* 1974; 120 : PP 273-89.

T

- **Tahri E., Belabed A. and Sadki K. 1997.** Effet d'un stress osmotique sur l'accumulation de proline, de chlorophylle et des ARNm codant pour la glutamine synthétase chez trois variétés de blé dur (*Triticum durum Desf.*). *Bulletin de l'Institut Scientifique. Rebat*. **21**: 81 - 89 P.
- **Thierry L., 1987:** L'arganier au Maroc sa description, ses méthodes de multiplication et son application en reforestation. Thèse d'ingénieur technique, Institut provençal d'enseignement supérieur agronomique et technique ; 183 P.
- **Troll W., ET Lindsley, J., (1955):** A photometric method for the determination of proline. *J. Biol. Chem.*, 215: PP 655-660.

W

- **Woodroof J.G., (1979)** The nuts, production processing products. Comp, Inc. westport Connecticut: Maroc, htm.

Y

- **Yousfi H., Hafid L., Haloui B., (2003)** Etude des acides gras de huile du fruit du pistachier de l'Atlas Algérienne complément aux travaux fait sur l'huile du fruits du *Pistacia atlantica Desf* par : Daneshrad, Aynehchi., 1980 et Ueeiani., 1992.

Z

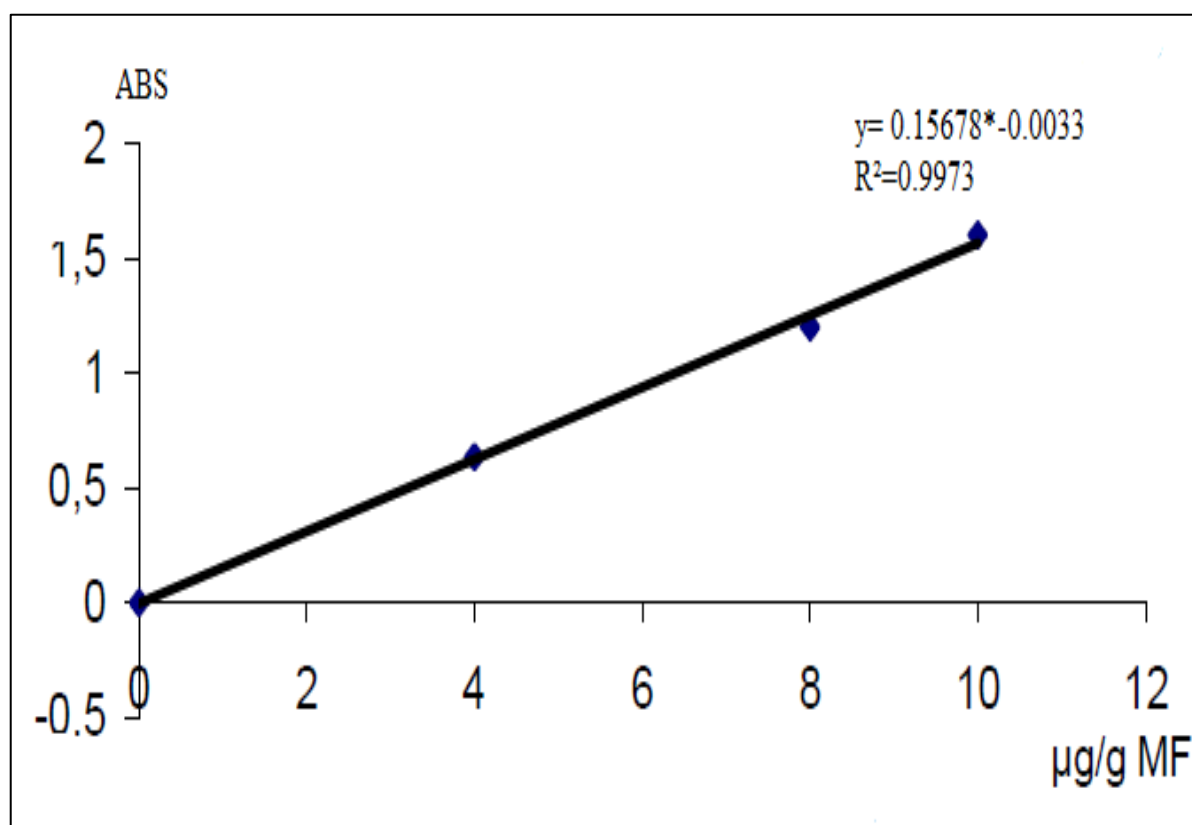
- **Zid E., Grignon C., (1991)** Les tests de sélection précoce pour la résistance des plantes aux stress : cas des stress salin et hydrique. Ed. AUPELF-UREF. John Libbey, Eurotext. Paris, PP.91 108.

ANNEXES

Annexe 1 : Préparation du mélange

Le mélange	Quantité
-L'eau distillée	120ml.
-Acide acétique	300ml.
- Acide orthophosphorique (H ₃ PO ₄ , densité 1,7)	80ml.
-Ninhydrine	25mg.

Annexe 2 : Courbe d'étalonnage de la proline



Annexe 3 : Analyse de la variance : Paramètres morphologiques (longueurs) stress salin.

VARIABLE	Moyenne et écart type				
TRAITEMENT	T0	T1	T2	T3	T4
LONGEUR TIGES (cm) Médéa	11,83±1,89	8,16±1,25	7,33±1,89	9,33±1,52	9±1
LONGEUR RACINES (cm) Médéa	16,33±6,54	27,33±2,05	20±2,94	14,33±1,24	7,33±2,05
LONGEUR TIGES (cm) Djelfa	10,16±1,52	8,66±0,76	8±0,5	7,83±0,76	9±1
LONGEUR RACINES (cm) Djelfa	20,33±9,67	14,33±2,39	12,33±4,36	21±5,09	12±2,16

Annexe 4 : Analyse de la variance : Paramètres morphologiques (poids sec) stress salin

VARIABLE	Moyenne et écart type				
TRAITEMENT	T0	T1	T2	T3	T4
POIDS SEC TIGES (g) Médéa	0,06±0,002	0,03±0,001	0,03±0,002	0,022±0,004	0,017±0,002
POIDS SEC RACINES (g) Médéa	0,05±0,003	0,04±0,008	0,05±0,006	0,02±0,005	0,02±0,006
POIDS SEC TIGES (g) Djelfa	0,07±0,004	0,04±0,002	0,021±0,002	0,025±0,002	0,032±0,004
POIDS SEC RACINES (g) Djelfa	0,07±0,01	0,05±0,003	0,04±0,002	0,004±0,001	0,024±0,005

Annexe 5 : Analyse de la variance : Paramètres morphologiques (poids frais) stress salin.

VARIABLE	Moyenne et écart type				
TRAITEMENT	T0	T1	T2	T3	T4
POIDS FRAIS TIGES (g) Médéa	0,14±0,02	0,12±0,01	0,12±0,00	0,12±0,01	0,012±0,05
POIDS FRAIS RACINES (g) Médéa	0,16±0,01	0,20±0,02	0,29±0,01	0,24±0,06	0,22±0,21
POIDS FRAIS TIGES (g) Djelfa	0,14±0,03	0,13±0,02	0,07±0,01	0,11±0,02	0,08±0,01
POIDS FRAIS RACINES (g) Djelfa	0,30±0,16	0,29±0,08	0,17±0,04	0,69±0,13	0,17±0,09

Annexe 6 : Analyse de la variance : Nombre de feuilles stress salin

VARIABLE	Moyenne et écart type				
TRAITEMENT	T0	T1	T2	T3	T4
nombre de feuilles Médéa	8±0,81	6,66±0,94	6±0,81	6,33±1,24	7,33±1,24
nombre de feuilles Djelfa	8,33±0,47	6±0	5,66±0,47	6±0,81	6,66±1,27

Annexe 7 : Analyse de la variance : Paramètre hydrique (TRE%) stress salin.

VARIABLE	Moyenne et écart type				
TRAITEMENT	T0	T1	T2	T3	T4
TRE Médéa	48,08±2,72	37,33±2,03	41,11±1,29	16,04±7,61	66,58±1,33
TRE Djelfa	54,78±5,60	44,45±9,25	47,38±0,23	59,28±2,07	59,59±9,05

Annexe 8 : Analyse de la variance : Teneur des chlorophylles (a et b) stress salin.

VARIABLE	Moyenne et écart type				
TRAITEMENT	T0	T1	T2	T3	T4
CHLOROPHYLE(a)Médéa	0,49±0,002	0,39±0,004	0,56±0,001	0,5±0,002	0,36±0,00
CHLOROPHYLE(b)Médéa	0,45±0,,1	0,35±0,06	0,52±0,001	0,5±0,003	0,29±0,001
CHLOROPHYLE(a)Djelfa	0,8±0,00	0,49±0,004	0,3±0,009	0,47±0,04	0,51±0,002
CHLOROPHYLE(b)Djelfa	0,71±0,004	0,49±0,004	0,26±0,002	0,32±0,02	0,17±0,03

Analyse 9 : Analyse de la variance : Proline stress salin.

VARIABLE	Moyenne et écart type				
TRAITEMENT	T0	T1	T2	T3	T4
PROLINE Médéa	0,43±0,007	1,43±0,02	1,18±0,02	0,64±0,004	1,18±0,02
PROLINE Djelfa	0,44±0,02	0,51±0,04	0,84±0,007	0,54±0,04	1,55±0,05

Analyse 10 : Analyse de la variance : sucre soluble stress salin.

VARIABLE	Moyenne et écart type				
TRAITEMENT	T0	T1	T2	T3	T4
sucré soluble Médéa	1,10±0,01	0,75±0,01	1,11±0,01	0,9±0,13	1,37±0,01
sucré soluble Djelfa	0,74±0,04	0,71±0,014	0,4±0,008	0,79±0,02	0,92±0,04

Annexe 11 : Analyse de la variance : Paramètres morphologiques (longueurs) stress hydrique.

VARIABLE	Moyenne et écart type					
PERIODE	5 JOURS		10 JOURS	15 JOURS		
TRAITEMENT	T0	T1	T0'	T2	T0''	T3
LONGEUR TIGES (cm) Médéa	11,5±0,7	8,83±0,84	11,33±1,24	7,16±1,31	12±1,63	8,83±0,23
LONGEUR RACINES (cm) Médéa	14,33±4,78	14,33±5,53	28,66±2,86	14,66±2,05	16,66±0,47	19,33±4,78
LONGEUR TIGES (cm) Djelfa	11,83±0,84	9,66±0,94	11,33±1,24	8,16±1,64	12,33±0,62	8,66±1,69
LONGEUR RACINES (cm) Djelfa	18±3,55	14,5±7,49	28,66±2,86	21,33±8,73	20,33±9,67	13,33±4,92

Annexe 12 : Analyse de la variance : Paramètres morphologiques (poids sec) stress hydrique.

VARIABLE	Moyenne et écart type					
PERIODE	5 JOURS		10 JOURS	15 JOURS		
TRAITEMENT	T0	T1	T0'	T2	T0''	T3
POIDS SEC TIGES (g) Médéa	0,04±0,01	0,02±0,006	0,05±0,01	0,02±0,01	0,05±0,003	0,02±0,008
POIDS SEC RACINES (g) Médéa	0,017±0,001	0,016±0,00	0,028±0,009	0,018±0,014	0,055±0,003	0,013±0,001
POIDS SEC TIGES (g) Djelfa	0,05±0,01	0,04±0,007	0,05±0,01	0,03±0,007	0,07±0,01	0,02±0,004
POIDS SEC RACINES (g) Djelfa	0,017±0,001	0,016±0,00	0,028±0,009	0,018±0,014	0,055±0,003	0,013±0,001

Annexe 13 : Analyse de la variance : Paramètres morphologiques (poids frais) stress hydrique.

VARIABLE	Moyenne et écart type					
PERIODE	5 JOURS		10 JOURS	15 JOURS		
TRAITEMENT	T0	T1	T0'	T2	T0''	T3
POIDS FRAIS TIGES (g) Médéa	0,11±0,03	0,12±0,03	0,13±0,02	0,10±0,03	0,14±0,03	0,11±0,01
POIDS FRAIS RACINES (g) Médéa	0,12±0,03	0,1±0,02	0,12±0,008	0,07±0,02	0,36±0,3	0,10±0,03
POIDS FRAIS TIGES (g) Djelfa	0,12±0,01	0,11±0,01	0,11±0,009	0,11±0,005	0,14±0,04	0,08±0,01
POIDS FRAIS RACINES (g) Djelfa	0,11±0,01	0,11±0,008	1,14±0,37	0,14±0,09	0,3±0,13	0,15±0,06

Annexe 14 : Analyse de la variance : Nombre de feuilles stress hydrique.

VARIABLE	Moyenne et écart type					
PERIODE	5 JOURS		10 JOURS		15 JOURS	
TRAITEMENT	T0	T1	T0'	T2	T0''	T3
nombre de feuilles Médéa	6,66±1,24	7±0,81	8,33±1,24	7,66±1,24	8±0,81	5±0,81
nombre de feuilles Djelfa	7,33±1,24	6,66±0,94	7±0,81	6,66±0,47	6,66±1,88	7±1,41

Annexe 15 : Analyse de la variance : Paramètre hydrique (TRE%) stress hydrique.

VARIABLE	Moyenne et écart type					
PERIODE	5 JOURS		10 JOURS		15 JOURS	
TRAITEMENT	T0	T1	T0'	T2	T0''	T3
TRE Médéa	47,24±2,73	66,14±1,65	40,3±6,22	47,9±0,32	44,37±3,16	59,55±4,83
TRE Djelfa	47,37±3,26	53,31±4,07	41,16±0,91	43,02±5,56	41,93±3,61	35,5±1,15

Annexe 16 : Analyse de la variance : Teneur des chlorophylles (a et b) stress hydrique.

VARIABLE	Moyenne et écart type					
PERIODE	5 JOURS		10 JOURS		15 JOURS	
TRAITEMENT	T0	T1	T0'	T2	T0''	T3
CHLOROPHYLE(a)Médéa	0,70±0,13	0,69±0,01	0,42±0,12	0,43±0,01	0,33±0,11	0,33±0,01
CHLOROPHYLE(b)Médéa	0,72±0,14	0,72±0,11	1,59±0,27	1,59±0,02	0,95±0,36	1,11±0,11
CHLOROPHYLE(a)Djelfa	0,61±0,15	0,65±0,13	0,12±0,02	0,17±0,02	0,24±0,07	0,24±0,03
CHLOROPHYLE(b)Djelfa	0,91±0,25	0,86±0,11	0,88±0,14	0,84±0,02	0,51±0,12	0,59±0,07

Analyse 17 : Analyse de la variance : Proline stress hydric

VARIABLE	Moyenne et écart type					
PERIODE	5 JOURS		10 JOURS		15 JOURS	
TRAITEMENT	T0	T1	T0'	T2	T0''	T3
PROLINE Médéa	0,27±0,05	0,89±0,05	0,27±0,02	0,95±0,06	0,28±0,01	1,82±0,02
PROLINE Djelfa	0,27±0,02	0,79±0,02	0,28±0,02	0,95±0,05	0,27±0,005	1,90±0,01

Analyse 18 : Analyse de la variance : sucre soluble stress hydrique.

VARIABLE	Moyenne et écart type					
PERIODE	5 JOURS		10 JOURS		15 JOURS	
TRAITEMENT	T0	T1	T0'	T2	T0''	T3
sucré soluble Médéa	0,48±0,16	0,46±0,16	1,03±0,03	0,97±0,13	1,66±0,16	1,5±0,001
sucré soluble Djelfa	1,23±0,09	1,91±0,001	1,03±0,03	0,97±0,13	0,92±0,14	1,40±0,16

Il existe une relation étroite entre le "développement durable" et le milieu naturel. Les responsables doivent prendre de plus en plus en considération les menaces climatiques, le développement économique et la croissance démographique. Le développement durable d'un tel milieu repose avant tout sur une gestion raisonnée des ressources naturelles du sol de la végétation et de l'eau (**Palemborg, 1984**). Parmi les ressources végétales, les pistacheraies naturelles dont le pistachier de l'Atlas (le Bétoum) fait partie des espèces à protéger et à valoriser (**Quezel et al., 1999 ; Benhassaini, 2004**).

En effet, cette espèce n'est sans doute pas la plus importante ou la plus nécessaire des réalités naturelles d'Afrique du Nord, mais c'est certainement l'essence noble par excellence des pays constituant son aire naturelle dont le Maroc et l'Algérie (**Bouzenoune, 1984 ; Belhadj, 1999 ; Abousalima et Khalli, 1992**).

Le simple fait d'avoir associé le mot « Atlas » au nom de l'espèce traduit toute son importance (**Fournier, 1977**). Le pistachier est un arbre où chaque partie ou production de l'arbre (bois, feuilles et fruits) constitue une source de revenus non négligeable.

En plus de son rôle économique, le bétoum joue un rôle irremplaçable dans l'équilibre écologique. Grâce à son système racinaire puissant, il contribue au maintien du sol et permet de lutter contre l'érosion hydrique et éolienne qui menace de désertifier une bonne partie de la région où il existe (**Rognon, 1996**). De plus, grâce à son effet ombrage et améliorateur du sol, il peut permettre une production agricole non négligeable dans les conditions climatiques difficiles.

Enfin, de nombreux organismes vivants (faune, flore et microflore) sont directement liés à sa présence. La disparition du pistachier de l'Atlas entraînerait inéluctablement la disparition de plusieurs espèces, provoquant une diminution de la biodiversité dans la région, c'est à dire une réduction du patrimoine génétique, aussi bien pour l'arbre que les autres espèces animales, végétales ou microbiennes (**Demarteau, 2005**).

Malgré tous ces intérêts, une régression alarmante des pistacheraies est constatée aussi bien en surface qu'en densité, essentiellement due à un déséquilibre écologique d'origine anthropique (**Belhadj, 1999**). Ce déséquilibre écologique est dû aussi à des contraintes naturelles comme la salinité et la sécheresse qui constituent des facteurs limitant considérablement la productivité végétale sur 40 % de la surface terrestre, notamment en régions méditerranéennes (**M'barek et al., 2001 ; Jebara et al., 2000**).

La salinisation des sols, dans les pays méditerranéens, est non seulement liée aux conditions climatiques mais également au recours souvent mal contrôlé de l'irrigation, le fort ensoleillement et la faible pluviométrie font accumuler les sels dissous en surface (**Levigneron et al., 1995**).

Face à ces problèmes, l'introduction d'arbres ou d'arbustes fourragers tolérants à la salinité et au manque d'eau est l'une des techniques utilisées possible pour la valorisation de ces sols marginaux. En Algérie, nous assistons à une perturbation écologique, qui s'exprime par un déplacement progressif des espèces végétales sahariennes vers les écosystèmes arides et ceux de l'aride vers le semi-aride (**Quezel, 2000**).

Le comportement du pistachier de l'Atlas au stade juvénile vis à vis de la salinité a fait l'objet de très peu d'études, nous nous proposons dans ce travail d'étudier les aspects morpho-physiologiques, biochimiques en conditions stressantes au NaCl. Conjugués à une application d'un stress hydrique.

Dans une première partie nous abordons un aperçu bibliographique sur le pistachier et les aspects du stress salin et hydrique.

Le deuxième volet, concerne le matériel et méthodes utilisés au cours de notre expérimentation.

La troisième partie s'achève par des résultats et discussion, des observations de quelques paramètres morphologiques des plantes stressées. Une analyse des paramètres hydriques en particulier la TRE (Teneur Relative en Eau) ou RWC (Relative Water Content) et le dosage des chlorophylles, ainsi que les paramètres biochimiques à travers une analyse foliaire de la proline et en sucres solubles.

CHAPITRE I
GENERALITES SUR LE PISTACHIER
DE L'ATLAS

1-Historique et origine du pistachier de l'Atlas

Le genre *Pistacia* a une origine très ancienne, ceci explique le fractionnement actuel des aires des différentes espèces. La présence de restes fossiles, du genre dans les Iles de l'océan Atlantique apporte une preuve à cette opinion, le concept du genre *Pistacia* revient à **Linne (1937)** in **Koriga (2000)**, il s'agit de :

- *Lentiscus toume*.
- *Terebinthus toume*.

Marchand (1869) in **Morsli (1992)**, signale que dans le genre *Pistacia*, il existe aussi quatre autres espèces :

- *Pistacia chinensis*.
- *Pistacia mutica*.
- *Pistacia khinjuk*.
- *Pistacia palaestina*.

Selon **Quezel et Santa,(1963)**, En Algérie, le genre *Pistacia* est représenté par trois espèces :

- 1- *Pistacia lentiscus* L. (Lentisque), cette espèce est répartie dans le Tell
- 2- *Pistacia terebinthus* L. (Térébinthe) qui est répartie dans toute l'Algérie.
- 3- *Pistacia atlantica* Desf. (Bétoum) se trouve dans toute l'Algérie sauf dans les régions humides.

2-Systématique

Selon **Emberger, (1960)**, le genre *Pistacia* semble dériver du mot «Perse» que les iraniens emploient pour désigner les fruits. La classification du pistachier de l'Atlas est la suivante :

Règne :	Plantea
Sous règne:	Tracheobiontes
Embranchement :	Spermaphytes
Sous-embranchement :	Angiospermes
Classe :	Dicotylédoneae
Sous-classe :	Térébinthaleae
Ordre :	Térébinthaceaes

Famille : Anacardiaceae

Sous-famille : Rhoideae

Genre : Pistacia

Espèce : *Pistacia atlantica* Desf.

Le nom latin du *Pistacia atlantica* Desf, est proche de *Pistacia véra* L. et *Pistacia chinensis*. le nom *Pistacia* a été donné par les romains [(**Manjauze A., 1980,1986**) et., **Seigne, (1985)**].

Les noms vernaculaires du pistachier sont :

En Arabe locale : El betoum, du Berbère : Iggh et en Français : pistachier de l'Atlas ou arbre à mastic.

3-Description de la plante

Les arbres de *Pistacia atlantica* sont assez grands, ils peuvent atteindre 25 mètres de hauteur (**Belhadj, 1999**).

En Algérie, les trois spécimens de pistachier de l'Atlas les plus âgées (plus de 100 ans) se trouvent à Stisef, situé dans le Tell oranais, non loin de Sidi Bel Abbés .Ces arbres ont une hauteur de dix-huit à vingt mètres et un diamètre du tronc atteignait deux mètres (**Monjauze, 1980**).

La frondaison est une boule dans le jeune âge de la plante puis devient hémisphérique à l'âge adulte (**Negre, 1962**).



Figure 1 : Peuplement de pistachier de l'Atlas (Région de Aïn Oussara).
(**Anonyme, 2013**).

3-1-Feuille

Les feuilles sont coriaces, simples, composées de 7 à 11 folioles de 2,5 à 6 cm de longueur. Elles sont caduques, alternes et composées de 2 à 4 paires de folioles ovales, sessiles et une terminale à rachis (figure 4).

Selon **Fournier, (1952)** et **Ait Said, (2003)**, les feuilles de Bétoum sont lancéoles, rétrécies à la base.

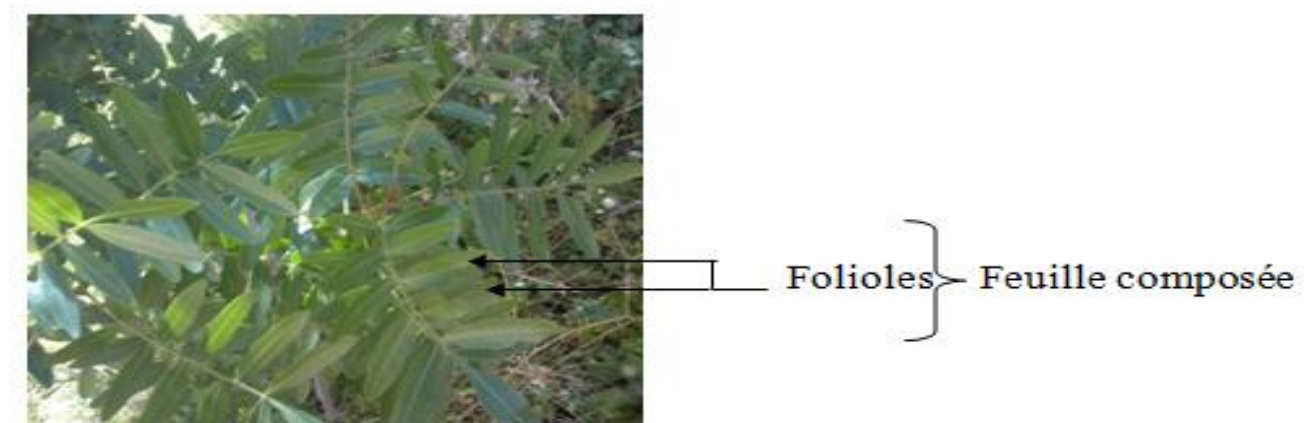


Figure 2 : Feuilles composées de *Pistacia atlantica* Desf.

(Anonyme, 2012) .

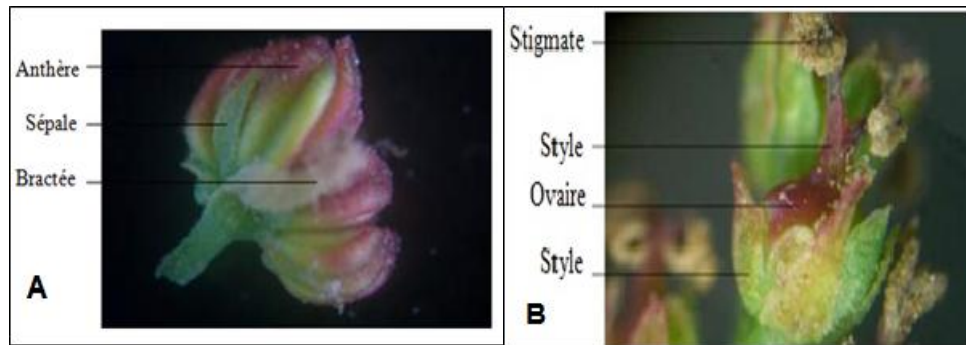
3-2-Inflorescence

L'inflorescence est une cyme ample, touffue, unisexuées dont les mâles ont 5 étamines incérées au fond du calice. Les fleurs femelles ont un ovaire uniloculaire, uniovulé surmonté de 3 stigmates (**Abbyes et al., 1963**).

Les fleurs sont apétales, rougeâtres en grappes terminales pour les mâles et axillaires pour les femelles (**Seugue, 1985**).

Les fleurs mâles et femelles sont portées par des pieds différents. Quelques pieds exceptionnellement monoïques ont été observés dans la plaine de Tafrata (Région de Debdou Maroc), où les fleurs mâles et femelles sont portées par des rameaux différents. Aucun hermaphrodisme n'a été observé (**Yaaqobi et al., 2009**).

Les fleurs sont petites en panicules axillaires et sont apétales (Figure 3). Ce sont des fleurs régulières avec une tendance à la zygomorphe (Yaaqobi et *al.*, 2009).



A- Fleur mâle(x40).

B- B-Fleur femelle(x50).

Figure 3 : Fleurs du pistachier de l'Atlas
Yaaqobi et *al.*, (2009).

3-3- Fruit

Le fruit appelé en arabe El khodiri par la population locale. Cette appellation est due à la prédominance de la couleur vert foncé à maturité (Belhadj, 2006).

Le fruit est une drupe monosperme comestible légèrement ovale et aplatie mesurant 6 à 8 mm de long et 5 à 6 mm de large, (Figure 4). Il est de couleur rougeâtre et devient bleuâtre à la maturité (Ozenda, 1977) et (Ait Said, 2003). Il atteint sa maturité à partir de septembre, ce sont des samares (Morsli, 1992).

Le fruit présente un péricarpe souvent coriace, mésocarpe sec plus ou moins plissé et un endocarpe osseux, abritant deux cotylédons exalbuminés (Manjauze, 1980).

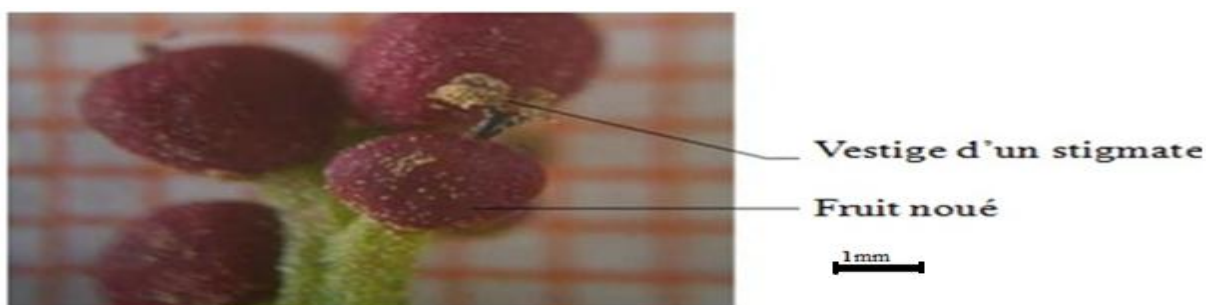


Figure 4: Fruits immature du pistachier de l'Atlas
(Yaaqobi et *al.*, 2009).

3-4- Graine



Figure 5 : fructification de la graine du pistachier de l'Atlas(x20)

(Yaaqobi et *al.*, 2009).

La graine est une drupe monosperme à endocarpe dure et à mésocarpe sec plus au moins plissée de couleur bleu pourpre mesurant 6 à 8 mm de long sur 5 à 6 mm de large à maturité (**Ait Radi, 1979**)

L'apparition des fruit débute du mois d'Avril, de couleur rougeâtre et à maturité il devient vert foncé (**Maamri, 2008**), noir au brunâtre vers la fin d'Aout, Septembre et au début d'Octobre (**CHABAet al.,1991**).

D'après Larouci-Ruibat (1987), la composition des minéraux des graines en maturité (de couleur noir) est estimée à 138 ug/g de lipides ,178 ug/g de sucres.

Manjauze, (1980) signale qu'ils sont légèrement ovales plus au moins allongés, ayant une taille d'un petit poids. Son épiderme se ride en se séchant, son endocarpe induré abritent deux cotylédons exalbuminés, riche en huile comestible. Dans une chambre froide, la conservation est plus longue pouvant aller jusqu'à 4 à 6 années.

Les graines de pistachier de l'Atlas perdent leur pouvoir germinatif très rapidement après quelques mois de conservation dans un milieu frais (**Khellil et Khellal, 1980**).

3-5- Système racinaire

Le système racinaire du pistachier de l'Atlas est un pivot vertical, orthogéotrope à croissance rapide et indéfinie avec de fines racines latérales plagiotropes à croissance lente et peu durable (**Khichane, 1988**).

Le pistachier de l'Atlas est un arbre xérophile avec des racines pouvant attendre jusqu'à 5 à 6 mètres de profondeur ce qui l'amène à végéter sous des tranches pluviométriques très faibles. La profondeur et le volume de sol important prospectés par les racines du pistachier de l'Atlas mettent à la disposition de la plante l'eau et les éléments minéraux nécessaires à sa croissance (**Ait Radi, 1979**).

4-Répartition géographique du pistachier de l'Atlas

Le Bétoum ou pistachier de l'Atlas colonise de façon diffuse un territoire considérable, centré sur les pays méditerranéens à saison sèche et chaude bien marquée. Il est le plus ubiquiste des arbres du nord de l'Afrique et du Proche-Orient (**Seigue, 1985**).

4-1-Dans le monde

Monjauze, (1968), souligne que l'aire de *Pistacia atlantica* Desf est très vaste et discontinue. Elle s'étend des Iles de Canaris jusqu'au Pamir, Tadjikistan en passant par l'Afrique du Nord, la Péninsule Arabique, l'Afghanistan, la Grèce, la Bulgarie, la Crimée, le Caucase, la Transcaucasie et l'Arménie, la Palestine, l'Iraq et l'Iran.

Le *Pistacia atlantica* ainsi que d'autres espèces notamment : *P. calibula*, *P. mutica* et *P. kurdica*, occupent une aire très vaste, englobant le Maroc, la Syrie, l'Algérie, la Libye, la Tunisie et la Jordanie (**Monjauze, 1968**).

C'est une essence forestière qui remonte dans les forêts de chênes xérophiles jusqu'à 2000 m de l'occident et jusqu'à 3000 m à l'orient. Elle est fréquente à l'état de forêt-parcs dans les plaines et les steppes subdésertiques (**Monjauze, 1980**).

Le Houerou (1995), note que *Pistacia atlantica* Desf est présent dans les steppes d'Espagne, du Maghreb, d'Egypte (Sinaï) et du proche Orient (Figure 6).



Figure 6 : Aire de répartition du pistachier de l'Atlas en région méditerranéenne

(Quezel et Medial, (2003).)

4-2- En Algérie

Selon **Monjauze (1967)**, le pistachier de l'Atlas est l'arbre par excellence des hautes plaines centrales du Maghreb et des dayas du piémont méridional de l'Atlas saharien. Les plus beaux spécimens se rencontrent dans les dayas du sud de l'Atlas saharien entre Laghouat et Ghardaïa.

Les dayas à pistachier de l'Atlas constituent, dans les steppes, une physionomie de type « steppes arborées » et l'association, *Pistacia atlantica* et *Zizyphus lotus* apparaît comme le refuge d'un paysage « forestier » du bioclimat saharien (**Abdelkrim, (1985) in Abdelguerfi et Laouar, (2004)**).

Dans le Hoggar, le Bétoum a été rencontré dans l'oued Idikel à l'intérieur des buissons de myrte « *Myrtus nivellei* », cette espèce joue le même rôle que le jujubier dans les groupements à pistachiers des dayas, **Abdelkrim, (1989) in Abdelguerfi et Laouar, (2004)**.

Dans le massif de la Taessa (Atakor, Ahaggar) **Bencharif et al., (1991) in Abdelguerfi et Louar, (2004)**, ont montré que cette espèce relique méditerranéenne est relativement plus abondante.

Monjauze, (1968) note que le Bétoum se régénère aussi bien dans les touffes d'*Asparagus stipularis*, *Asparagus albus*, sur piémont septentrional de la Maeseta oranaise, dans la moyenne vallée de la Tafna, sur les basses collines que dans la plaine du Cheliff.

Selon **Zohary, (1952)**, les variétés de *Pistacia atlantica* Desf sont :

- Pistacia atlantica* Desf. : à folioles lancéolées, en 3-5 paires.
- Pistacia atlantica* Desf.: Var-latifolia D.C, aux feuilles plus grandes.
- Pistacia atlantica* Desf. : Var-kurdica Zob ; dont les feuilles ont jusqu'à 20 cm de long.

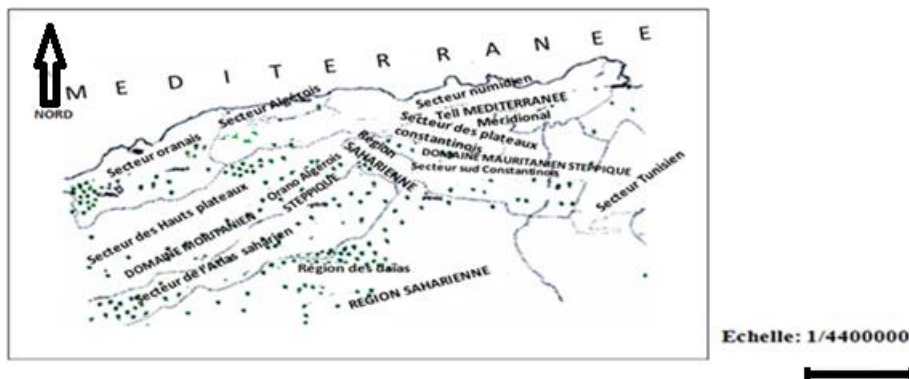


Figure 7 : Répartition du pistachier de l'Atlas en Algérie et en Tunisie (Monjauze, 1968).

5-Caractéristiques écologiques et édaphiques de l'espèce

L'une des principales caractéristiques du pistachier est sa très grande résistance à la sécheresse [(Spina et Pennisi, (1957) et Woodroof, (1979. .

5-1-Climat

Le climat de la région des dayas se caractérise par des précipitations de 130 à 160 mm par an, ces précipitations sont irrégulièrement réparties au cours de l'année.

5-1-1-Température

Le pistachier de l'Atlas résiste aux températures basses, il craint les gelées quant il n'ya pas d'ambiance forestière (**Khichane, 1988**).

Le pistachier de l'Atlas pourrait résister à des températures de $50 \pm 5^{\circ}\text{C}$ en été. Il est capable de survivre même si l'humidité du sol descend jusqu'à 4% dans les sols sableux (**Hadji Brahim, 1993**).

Pistacia atlantica Desf supporte sans défaillance les sècheresses prolongées. Les fortes chaleurs sont nécessaires pour la bonne maturation des fruits (**Rebour ,1968**).

L'arbre n'est pas sensible au froid ,ses besoins sont d'environ 100 à 200 heures au-dessous de $7 \pm 2^{\circ}\text{C}$ (**Anonyme, 1999**). (**Le Houerou, 1995**).

5-1-2-Pluviométrie

Le Bétoum supporte une pluviométrie extrêmement faible. Il semble qu'il pourrait pousser sous les isohyètes de moins de 127 mm par an (**Rebour,1968**).

Le pistachier de l'Atlas ne serait à sa place que dans la moitié de l'étage aride tempéré et de l'étage semi-aride (**Monjauze, 1968**). A cet effet, il bénéficie d'une pluviométrie maximale de l'ordre de 1000 mm au niveau septentrionale à l'ouest de l'Algérie et au versant du Zaccar. Il reçoit 600 mm sur le bord méridional de l'Atlas Tellien entre Benchicao et Berrouaghia. La faible précipitation ne dépassant pas les 250 mm est recensée dans les collines de Boghar et a Boughazoul (**Ait Radi, 1979**).

5-1-3-Lumière

Pistacia Atlantica Desf est une essence héliophile généralement dans les dayas. Les pieds sont assez distants les uns aux autres. Les semis se trouvent dans les touffes de *Zizephus lotus Desf*. Ils bénéficient eux-mêmes de la lumière nécessaire sans difficulté. Il est à noter qu'un ombrage important nuit à la fructification (**Ait Radi, 1979**).

5-1-4-Vent

La pollinisation chez le pistachier de l'Atlas est très souvent anémophile rarement entomophile. Il est à noter que cette espèce ne craint pas les vents violents, son système racinaire puissant et profond le maintien énergiquement au sol.

5-1-5-Altitude

En Iran au Kerman, en Turquie au Gaziantep et en Syrie, le pistachier se trouve respectivement à environ 1800, 900, 400 mètres d'altitude (**Anonyme, 1999**). En Afrique du Nord, il est localisé au-dessous de 1500 mètres à 2000 mètres d'altitude (**Monjauze, 1980**).

5-1-6-Sol

Du point de vue édaphique, le pistachier de l'Atlas est indifférent au type de sol (**Negre, 1962**).

Selon **Alyafi (1979)**, la nature de substrat n'exerce pas une grande influence sur la distribution du Bétoum, cependant il préfère des sols alluviaux des dayas et les sols de type ranker ou randzine dans les régions montagneuses.

Selon **Hadj Brahim (1993)**, le pistachier de l'Atlas s'adapte aux sols les plus ingrats notamment les sols gypso-calcaique, néanmoins, il préfère des sols profonds et bien drainés. Le pistachier exige une assez forte teneur en calcaire allant de 20 jusqu'à 80 %.

6- Intérêts de l'espèce

Le pistachier de l'Atlas peut être associé comme deuxième essence de reboisement. Il peut jouer un rôle important dans les actions de mise en valeur en zones arides et semi-arides (**Monjauze, 1980**).

6-1-Intérêts écologiques

Pistacia atlantica Desf est le plus représenté dans les zones arides en raison de sa rusticité et de sa résistance à la sécheresse. Il tolère un taux élevé de calcaire dans le sol jusqu'à plus de 75%. Il résiste aux attaques de nématodes contrairement au pistachier vrai (**Brousse, 1974**).

En Algérie, le Bétoum occupe généralement les sols peu profonds et grâce à son système racinaire puissant, il contribue favorablement à la lutte contre l'érosion et la désertification qui menacent constamment Les régions aride et semi-arides.

Pistacia atlantica est considéré comme étant l'espèce la plus résistante aux attaques parasitaires et à l'asphyxie racinaire par rapport aux autres espèces du genre *Pistacia*.

Il ne subit aucun problème de transplantation car son système racinaire est vigoureux et moins pivotant (**Aleta et al., 1997**).

6-2-Intérêts socio-économiques

Le Bétoum peut être utilisé comme espèce pastorale surtout en période de disette car ses feuilles constituent un apport en unités fourragères importantes dont la valeur nutritive est estimée à 0.35 U.F, et 41g de matière azotée digestible par Kg de matière sèche (**El hamrouni et Sarson, 1974 in Oudah, 1982**).

Son bois est largement utilisé comme bois combustible, seulement sa dureté le met quelque peu à l'abri des coupes (**Ozenda, 1977**).

Les semences sont utilisées à des fins culinaires et médicinales par les populations locales. Elles peuvent être séchées, écrasées ou moulues et mélangée avec de l'eau sucrée et consommées en boulettes (**Belhadj, 2006 et Bedevian, 1936 ; Ozenda, 1991**).

Les fruits sont comestibles et très appréciés par les habitants. Il est riche en huiles denses très énergétiques ayant un goût très proche de celui du beurre. Il est souvent mélangé aux dattes écrasées et peut être consommé à toute heure de la journée avec du petit lait.

Le fruit est aussi utilisé par la population locale d'une façon très artisanale en médecine comme antiseptique contre les blessures et les troubles d'estomac (**Bedevian, 1936** et **Ozenda, 1991**).

L'huile peut être extraite du fruit et est utilisée pour la saponification et pour préparer des produits cosmétiques adoucissants et éclaircissants (**Cheif, 1982**).

La production de résine était autrefois utilisée en pharmacie pour la fabrication d'onguent ; on l'appelait mastic de Chio (**Monjauze, 1980**). Cette résine est largement utilisée en industrie agro-alimentaire pour préparer les masticatoires (**Yousfi et al ., 2003**).

7- Régénération du pistachier

Dans la nature le Bétoum ne régénère que par rejets à l'ombre de *Zizyphus lotus Desf*, dont il est l'hôte classique (**Monjauze, 1980**).

Selon le même auteur, le bouturage n'a donné aucun résultat pratique. De nombreuses études ont été mises au point pour ce mode de propagation mais les résultats obtenus sont loin d'être satisfaisants car ses tissus émettent très difficilement ou n'émettent pas du tout de racines, même avec l'utilisation d'hormones stimulatrices.

La régénération du pistachier de l'Atlas est difficile et s'opère dans des conditions encore mal connues (**Boudy, 1952**). Les rares cas de régénération naturelle de cette espèce ont lieu sous les touffes de jujubier (Figure 8) qui assurent à la plantule une protection contre le pâturage et les gelées (**Boudy, 1955**).



Figure8 : Régénération de pistachier de l'Atlas dans les touffes du jujubier
(**Anonyme, 2010**).

Quant au semis, il est assez délicat et demande beaucoup de soins, plusieurs étapes le caractérise (**Hadj Brahim, 1993**):

- ✓ Le trempage préalable des graines dans l'eau pendant 24 heures avant le semis facilite l'enlèvement de l'épicarpe qui exerce une action inhibitrice sur la germination. Ce trempage fournit immédiatement aux graines, l'eau nécessaire à leur réhydratation et leur germination.
- ✓ La stratification consiste à placer les semences avant de les repiquer définitivement dans des conditions d'humidité adéquate permanentes dans des tranchées de 1 à 5 mètres. Les fonds de ces tranchées sont recouverts d'une couche de sable grossier. Après trempage, les graines sont recouvertes d'une première couche de sable et d'une deuxième couche de sable de 10 cm. Cette opération permet de conserver une faculté germinative assez fugace des graines du Bétoum.
- ✓ La mise à la terre a lieu au mois de février jusqu'à la fin de mars. La levée ne se manifeste qu'après un mois et demi après le semis. Avant tout semis, les graines doivent être débarrassées de leurs enveloppes, et ceci en pratiquant, une décortication manuelle ou chimique. Pour la décortication chimique, les graines sont trempées dans une solution d' H_2SO_4 pendant deux heures.

Le pourcentage de germination des graines atteint dans quelques essais pas plus de 20% (**Ait Radi, 1979**).

Sbaa (2000), note que le taux de germination a atteint 87% dans la réserve naturelle de mergueb à M'sila.

CHAPITRE II

LE STRESS

1- Notion de stress

Le terme de stress a été inventé par **Hans en 1935**. Ce dernier a défini le stress comme une « réponse non spécifique de l'organisme à toute sollicitation ». D'origine anglaise, le mot « stress » était employé en mécanique et en physique et voulait dire « force, poids, tension charge ou effort ». Ce n'est qu'en 1963 que **Hans Selye, (1935)** utilise ce mot en médecine et le définit comme étant « des tensions faibles ou fortes, éprouvées depuis toujours et déclenchées par des événements futurs désagréables ou agréables ».

La capacité d'un organisme à s'adapter à son environnement est d'une importance vitale.

La vie existe à travers le maintien d'un équilibre dynamique complexe de l'environnement interne appelé «homéostasie» qui constitue un défi constant face aux forces adverses intrinsèque ou extrinsèques (**Habib et al., 2001**). Le milieu intérieur est le concept original selon lequel l'environnement interne est maintenu dans un équilibre constant même si les conditions du monde environnant changent (**Claude, 1868**).

Selon **Jones et al., (1989)**, un stress désigne à la fois l'action d'un agent agresseur et les réactions qu'il entraîne dans l'organisme agressé, une force qui tend à inhiber les systèmes normaux.

D'autre part, les stress environnementaux nés de la fluctuation des facteurs abiotiques (sécheresse, salinité et température) affectent les conditions de croissance, de développement et le rendement des plantes (**Madhava Rao et al., 2006**).

2-Stress et la plante

Le développement des végétaux est fonction non seulement de l'information génétique que ceux-ci portent et qui est spécifique à chaque individu, mais aussi des caractéristiques de l'environnement. Les végétaux sont constamment soumis aux différentes variations environnementales et subissent divers stress biotiques et/ou abiotiques.

Aussi, les plantes ont-elles développé des stratégies de tolérance vis-à-vis de ces variations, ce qui leur permet de s'adapter et de s'acclimater aux différentes modifications (**El Msehli, 2009**).

L'étude des plantes placées dans ces conditions, appelée physiologie des stress, est un aspect important de l'écophysiologie végétale. En effet, les plantes répondent souvent aux stress en modifiant leur physiologie et leurs métabolismes normaux; ensuite, l'étude de la physiologie des stress contribue à la compréhension des facteurs qui limitent la répartition des végétaux; enfin, en agriculture, la capacité des cultures à résister aux stress est un facteur important de la détermination du rendement.

Le mécanisme général grâce auquel les plantes réagissent aux stress environnementaux comprend la réception et l'identification du signal, la transmission du signal dans l'ensemble de la

plante, puis la modification de l'expression de gènes et du fonctionnement du métabolisme (Nebors, 2008).

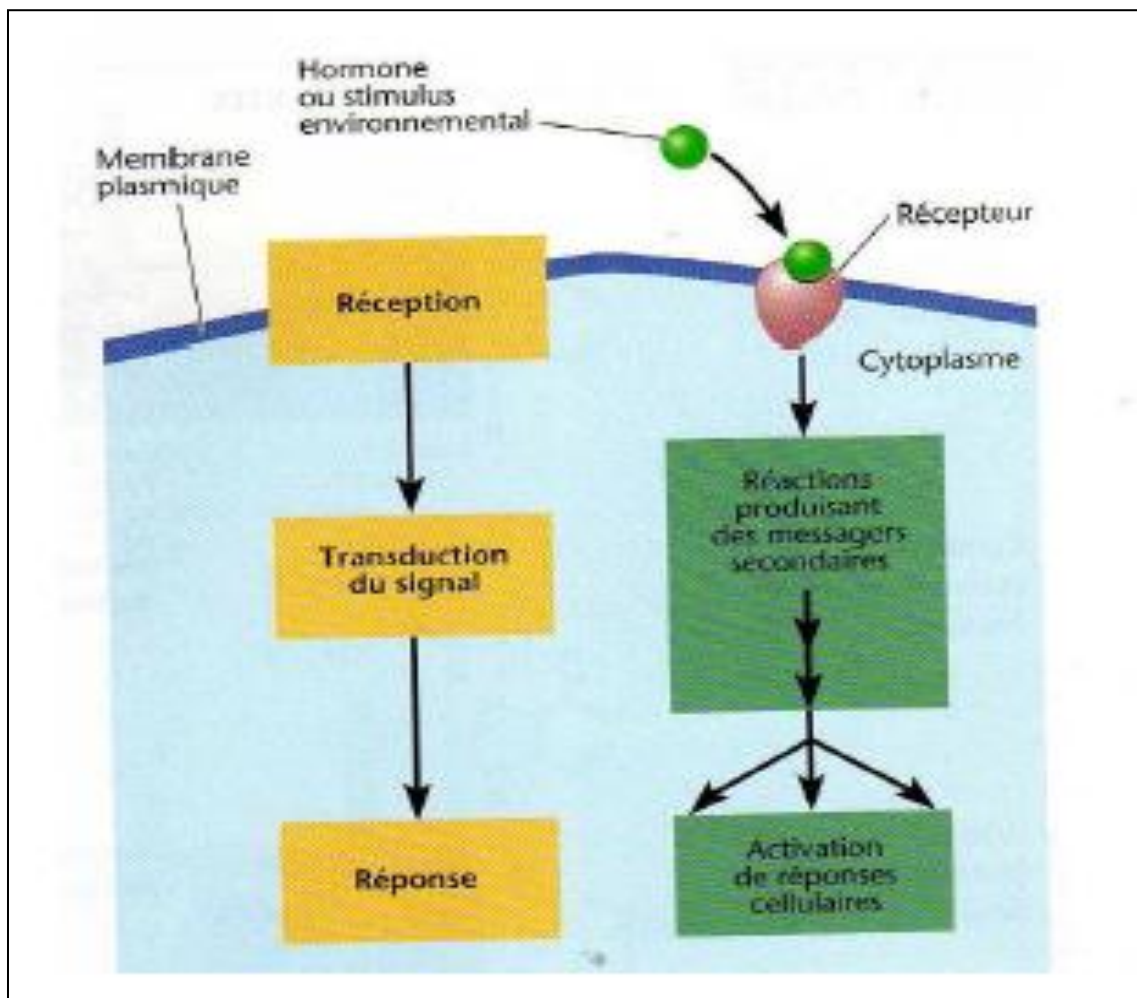


Figure 9: Perception et traduction du signal par la plante
(Nebbours, 2008)

3- Perception du stress

La perception des signaux internes ou externes a pour rôle soit de maintenir un état équilibré des végétaux soit de se protéger des dégâts qui peuvent être générés (Figure 9). Les cellules végétales ne possèdent pas un récepteur ou un capteur spécifique d'un stress donné mais plutôt un ensemble de récepteurs qui vont être sollicités par les différentes composantes du stress (Elmsehli, 2009).

I STRESS SALIN :

1- Rôle du calcium

Chez les végétaux, l'ion calcium semble avoir un rôle central dans la transduction des signaux environnementaux. En effet, des modifications rapides et transitoires de la concentration cytosolique en calcium libre interviennent après l'application de stimuli divers chez des plantes [Knight, (1991) in Tafforeau, (2002)]. Le calcium est un modulateur du métabolisme et du développement et sert de second messenger dans la traduction des stimuli environnementaux chez de nombreux organismes, notamment les plantes. Les parois des cellules végétales et la vacuole sont des sites de stockage du calcium et les membranes plasmiques et le tonoplaste possèdent des canaux calciques (Alvarez, 2004). Le calcium est donc un messenger secondaire majeur de la signalisation du stress hydrique [Knight, (2000) in Lefebvre, (2005)].

L'entrée de Ca^{+2} dans les cellules végétales a été observée en conditions de stress abiotique et biotiques (stress hormonaux : ABA) ainsi que lors de processus liés au développement. Cette augmentation transitoire de la concentration interne de calcium est due soit à un influx de calcium extracellulaire soit à une libération des stocks intra cellulaires [Knight, (2000) ; Sanders et al., (1999) in Lamzeri, (2007)]

2- Stress salin et l'absorption

Chez les plantes cultivées sur un milieu témoin sans sel, la concentration totale de la solution foliaire en solutés organiques tend à diminuer avec l'avancement en âge des plantes, alors qu'un effet opposé est noté pour la concentration inorganique totale de la feuille (Rahmoune et al., 1997 ; Ben Naceur et al., 2002).

L'irrigation avec de l'eau chargée en sels réduit la faculté des racines des plantes à puiser de l'eau du sol. Entre deux irrigations, alors que l'humidité du sol diminue, les sels de la solution du sol peuvent se concentrer à hauteur de 2 à 5 fois leur valeur initiale. Ceci cause une augmentation de la pression osmotique de la solution du sol et rend encore plus difficile pour les racines d'extraire l'eau du sol. Ce phénomène est appelé sécheresse physiologique (Maillard, 2001). Les effets osmotiques du stress salin peuvent également limiter la croissance des racines, ce qui limite les possibilités de l'absorption des éléments nutritifs du sol [Tester et Davenport, (2003) in Jabnoute, (2008)].

En présence de sel, l'absorption des cations Na^+ , Ca^{2+} et Mg^{2+} dépasse souvent celle des anions Cl^- , PO_4^{4-} et NO_3^- , ce qui engendre un déficit anionique pour le végétal. Dans les feuilles, les chlorures (Cl^-) sont toujours accumulés proportionnellement à la teneur globale en sel et en plus grande quantité que le Na^+ (Rahmoune et al., 2000). Le chlore, en entrant en compétition avec le

NO_3^- , inhibe dans les plantes sensibles aux sels l'absorption et le transport à longue distance de cet anion vers les parties aériennes et engendre ainsi une carence nutritionnelle qui est estimée par la différence entre la teneur globale en cations majeurs Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} et Na^+ et la teneur en Cl^- (**SLAMA, 1986 in LAMZERI, 2007**). Le stress salin réduit énormément la fixation de l'azote N_2 et l'activité nitrénase de nodosités chez les légumineuses herbacées (**Raanem, 2002 in Lamzeri, 2007**). **Pessarakli et al., (1990)**.

3- Effet du Stress salin sur la translocation

La régulation du transport et de la distribution des ions dans les différents organes de la plante et à l'intérieur des cellules est un facteur essentiel du mécanisme de tolérance au sel (**Greenway et Munns, 1980**). Une étude faite par **Haouala et al., (2007)** sur le Ray-grass anglais montre que cette espèce accumule plus de Na^+ et Cl^- dans ses feuilles que dans ses racines. Le ray gras apparaît ainsi comme une espèce du type «includeur» alors qu'il est classé comme une espèce moyennement sensible à la salinité. Les glycophytes, plantes poussant dans les sols non salés, paraissent généralement incapables d'assurer à la fois un transfert important d'ions des racines vers les feuilles ainsi qu'une compartimentation cellulaire efficace. D'après **Greenway et Munns (1980)**, les plantes les plus résistantes sont celles qui évitent une absorption trop importante d'ions. Certaines glycophytes, comme le cotonnier ou l'orge, transportent et accumulent de grandes quantités de Na^+ dans leurs feuilles.

Les espèces incapables de compartimenter Na^+ dans leurs feuilles sont nettement plus sensibles à la salinité. En effet, ces espèces semblent peu efficaces pour abaisser la concentration cytoplasmique de Na^+ , ce qui est peut-être l'une des causes essentielles de leur sensibilité au niveau cellulaire.

Cependant, l'incapacité de débarrasser le cytoplasme de Na^+ a pour conséquence le transport facile de cet ion vers le phloème de ces plantes [**Zid et Grignon, (1986) in Haouala, (2007)**].

4- Stress salin et la photosynthèse

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

La présence continue de NaCl dans le milieu de culture entraîne une augmentation, d'une part, de l'épaisseur des limbes (ce qui deviendrait un élément limitant dans la porosité stomatique) et, d'autre part, de la vitesse d'ouverture des stomates (**Greenway et Munns, 1980**). Le sel peut

également provoquer la modification de la densité des stomates, du nombre et du diamètre des vaisseaux du xylème chez les halophytes, ou accélérer le cycle biologique avec changement de la voie métabolique de fixation du carbone (Levignero et *al.*, 1995 in Lamzeri, 2007).

5- Stress salin sur la croissance et le développement

La salinité est une contrainte majeure qui affecte la croissance et le développement des plantes (Bouaouina et *al.*, 2000). La salinité des sols et des eaux demeurent, pour les régions arides et semi-arides, un obstacle majeur à la croissance des végétaux. En effet, les sels accumulés dans le sol peuvent limiter ou complètement arrêter la croissance du végétal suite à une élévation de la pression osmotique du milieu et/ou à l'effet toxique spécifique des éléments (Arbaoui et *al.*, 1999). La salinité diminue la croissance des glycophytes en modifiant l'équilibre hydrique et ionique des tissus [Greenway et Munns, (1980) ; Ouerghi et *al.*, (1998)]. Un stress salin extrême conduit au nanisme et à l'inhibition de la croissance racinaire. Les feuilles deviennent sclérosées avant même d'avoir fini leur croissance et l'organisme tout entier risque de dépérir assez vite (Calu, 2006).

6- Effets toxiques de NaCl sur la plante

Certains sels peuvent être toxiques pour les plantes et peuvent en affecter la balance nutritionnelle s'ils sont présents en concentration excessive (figure10) ou en proportion anormale.

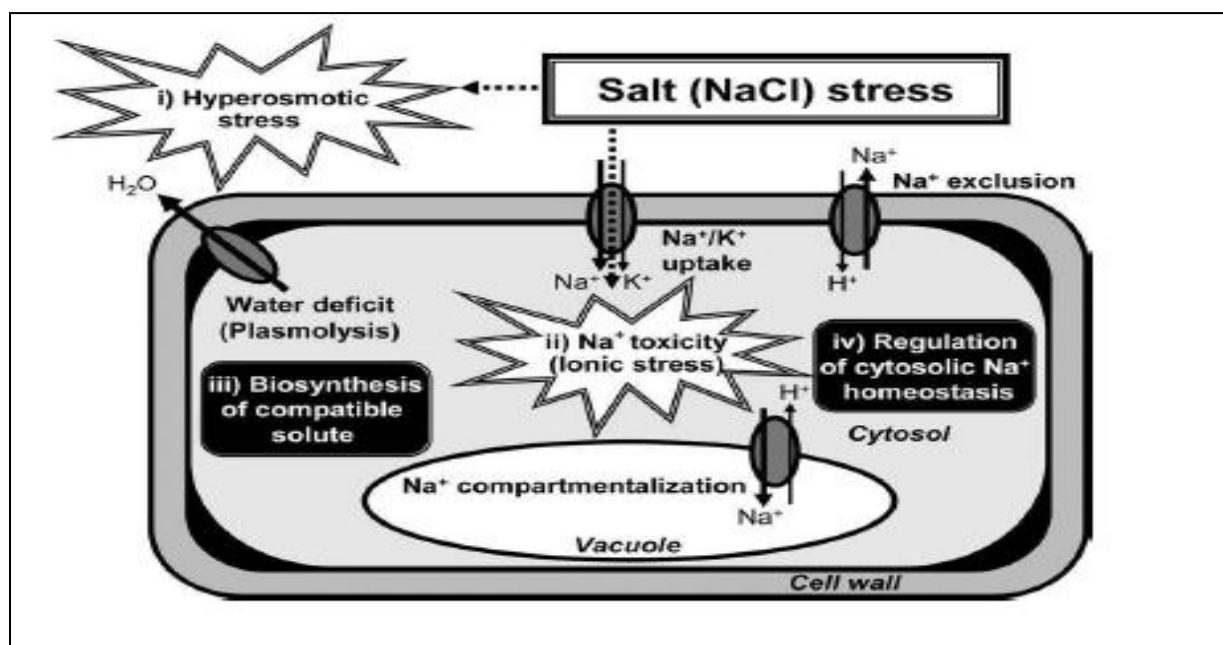


Figure 10: Toxicité de la plante par le NaCl
(Jabnourne, 2008)

La compartimentation des ions entre les organes (racines/parties aériennes), les tissus (épiderme/mésophylle), ou encore entre les compartiments cellulaires (vacuole/cytoplasme) est l'un des mécanismes d'adaptation à la contrainte saline (**Ouerghi et al., 1998**).

L'inclusion et la compartimentation sont la stratégie la plus efficace pour éviter la toxicité de Na⁺ sur des sites métaboliques dans le cytoplasme (**Jabnoute, 2008**). La plante utilise en effet le sel pour ajuster la pression osmotique de ses cellules. Elle capte le sel qui parvient aux feuilles, au même titre que l'eau, par le mouvement ascendant de la sève dans les vaisseaux. A l'intérieur des cellules, le sel est alors stocké dans les vacuoles grâce à des systèmes de "pompes" moléculaires. Les vacuoles sont des compartiments fermés au sein de la cellule, le sel est ainsi isolé des constituants cellulaires vitaux (**Sentenac et Berthomieu, 2003**).

7- Stress osmotique

La pénétration de l'eau dans les tissus du cortex racinaire est assurée par capillarité et osmose. Elle est donc d'autant plus aisée que la solution du sol est à une pression osmotique plus faible [**Mangel et Kirkby, (1982) in Snoussi et Halitim, (1998)**]. Au fur et à mesure que la salinité du sol augmente, son potentiel osmotique diminue ce qui réduit la disponibilité de l'eau pour la plante (**Snoussi et Halitim, 1998**).

8- Stress ionique

Des concentrations excessives d'ions chlorures et sodium dans la solution du sol peuvent causer une toxicité dans la plante. Ces ions peuvent être absorbés soit par les racines soit par contact direct avec les feuilles. Si l'eau d'irrigation a une salinité proche de concentrations critiques, il sera nécessaire d'en doser précisément les concentrations en ions chlorures et sodium (**Maillard, 2001**).

Les ions Cl⁻ peuvent être absorbés par les racines et s'accumuler dans les feuilles. Ces ions peuvent provoquer une brûlure des extrémités des feuilles et un jaunissement prématuré de celles-ci. En général, la plupart des plantes (arbres fruitiers à noyaux, citrus et avocatier) sont sensibles à ces ions alors que la majorité des plantes maraichères, fourragères et fibreuses y sont moins sensibles.

Les symptômes de toxicités typiques aux ions sodium Na²⁺ sont des brûlures de feuilles, le dessèchement et la mort des tissus sur les bords externes des feuilles, contrairement aux symptômes causés par des ions Cl⁻, qui eux apparaissent normalement à l'extrême pointe des feuilles.

La présence excessive d'ions sodique, chlorique et borique peut provoquer une augmentation du pH du sol, ce qui a un effet indirect sur l'impossibilité d'absorption des ions

ferreux, phosphate, zinc et manganèse indispensable pour la croissance des plantes (**Maillard, 2001**).

9- Stress nutritionnel

Les effets nutritionnels de la salinité incluent les deux actions primaires du sel sur les plantes: la toxicité directe due à l'accumulation excessive des ions dans les tissus et un déséquilibre nutritionnel provoqué par l'excès de certains ions. Des concentrations salines trop fortes dans le milieu provoquent une altération de la nutrition minérale des plantes (**Levigneron et al., 1995 in Haouala et al., 2007**) L'accumulation des ions Na^+ dans la plante limite l'absorption des cations indispensables tels que K^+ et Ca^{2+} . Il y aurait une compétition entre Na^+ et Ca^{2+} pour les mêmes sites de fixation apoplasmique (**Haouala et al., 2007**).

L'effet dépressif du sel sur l'accumulation de K^+ et Ca^{2+} est évident chez le blé dur (**Bouaouina et al., 2000**). Chez le blé, tout comme chez le riz et la canne à sucre, la concentration élevée de NaCl diminue également l'absorption de Ca^{2+} . Chez *Brassica campestris* L., qui est relativement tolérante au sel, l'augmentation de la concentration en Na^+ s'accompagne d'une réduction de la concentration en Mg, K, N, P et Ca dans la plante. Ce déséquilibre nutritionnel est une cause possible des réductions de croissance en présence de sel lorsque des ions essentiels comme K^+ , Ca^{2+} ou NO_3^- deviennent limitantes (**Haouala et al., 2007**).

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

10- Stress oxydatif

Les plantes sont constamment soumises à des variations environnementales. Ces changements peuvent engendrer un stress qui modifie l'homéostasie cellulaire. Une conséquence de ces stress environnementaux, comprenant le stress salin, est l'apparition d'un stress oxydatif, consistant en une accumulation d'espèces réactives de l'oxygène (ROS) qui endommagent les structures cellulaires.

Dans des conditions optimales, les feuilles sont dotées d'enzymes et de métabolites antioxydants suffisants pour faire face aux ROS. L'accumulation phytotoxique de ces différents radicaux oxygénés peut entraîner la mort de la plante.

Cependant, les ROS ont récemment été identifiés comme étant des acteurs essentiels de la réponse au stress et leur rôle comme messenger secondaire est maintenant clairement établi (**Appel et Hirt, 2004 in Attia, 2007**).

11- Mécanismes de la tolérance des plantes au stress salin

La caractérisation physiologique de la tolérance des végétaux à la salinité résulte de processus qui permettent au végétal d'absorber l'eau et les sels minéraux à partir de substrats faibles potentiels hydriques, mais aussi de vivre en tolérant la présence importante de sodium dans ses tissus. **Elzam et Epstein, (1969), Ruse et Epstein, (1981); in Guerrier, (1984)** signalent que les halophytes accumulent le plus de sodium ont une forte capacité d'élaboration des composés organiques [**Mercado., (1973), Briens et Larhe, (1982); in Guerrier, (1984)**], ces deux facteurs permettant le maintien d'une haute pression osmotique interne qui favorise les échanges d'eau entre les compartiments externes et cellulaires (**Guerrier, 1984**).

Toutes les plantes ne sont pas égales face au stress salin. Suivant leur production de biomasse, en présence de sel, quatre grands groupes sont discernés (Figure 10).

- ✓ **Halophyte vraies:** dont la production de biomasse est stimulée par la présence de sel. Ces plantes notamment *Atriplex sp.*, *Salicornia sp.*, *Sueda sp.* présentent des adaptations poussées et sont naturellement favorisées par la salinité du sol.
- ✓ **Halophytes facultatives:** présentent une légère augmentation de biomasse à des teneurs faibles en sels comme *Plantagomaritima*, *Aster tripolium*.
- ✓ **Non halophytes résistants:** supportent de faibles concentrations en sels (*Hordeum sp.*).
- ✓ **Glycophytes ou halophobes:** sensibles à la présence de sels (*Phaseolus vulgaris*).

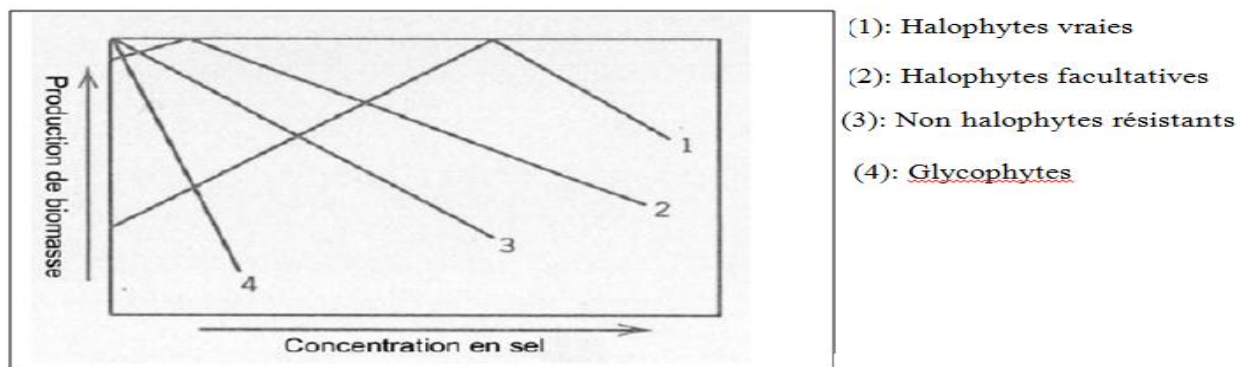


Figure 11 : Production de la biomasse de différents groupes

(Hagmeyer, 1996 cité par Calu, 2006).

12-Accumulation de la proline

Parmi les acides aminés pouvant être accumulés, la proline représente l'une des manifestations les plus remarquables des stress hydriques et osmotiques. Son rôle d'osmoticum a été rapporté par de nombreux auteurs. L'accumulation de la proline, induite par les stress, peut-être le résultat de trois processus complémentaires: stimulation de sa synthèse, inhibition de son oxydation et/ou altération de la biosynthèse des protéines [Rhodes et Hanson, (1993) in Jabnoute, (2008)].

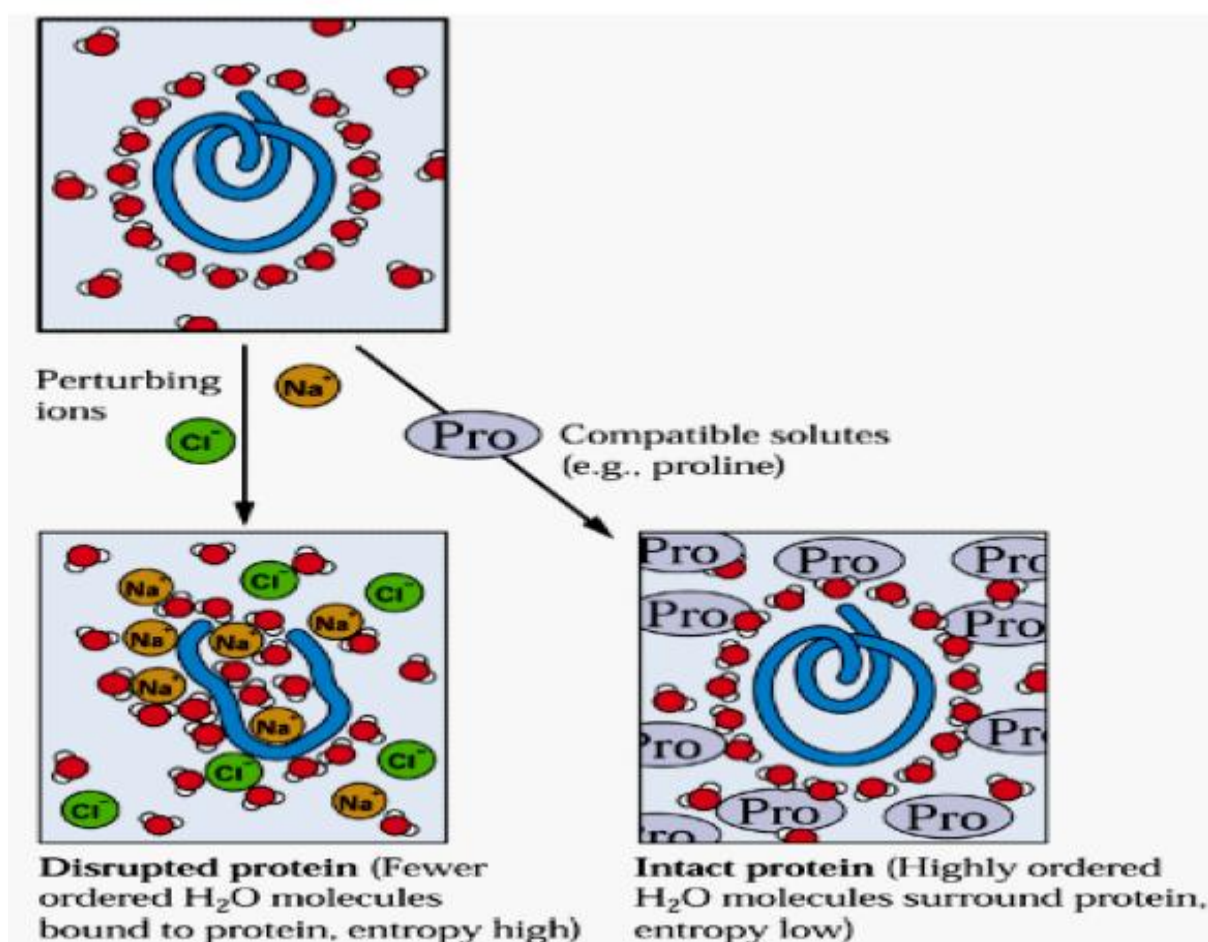


Figure 12 : Rôle de la proline dans la protection des protéines en présence de NaCl

[Rhodes et Hanson, (1993) in Jabnoute, (2008)]

La proline serait synthétisée à partir de l'acide glutamique de l'acide 5 carboxylique 1pyrroline (P5C) mais également via l'arginine et l'ornithine (Tahri et *al.*, 1998) (figure12).

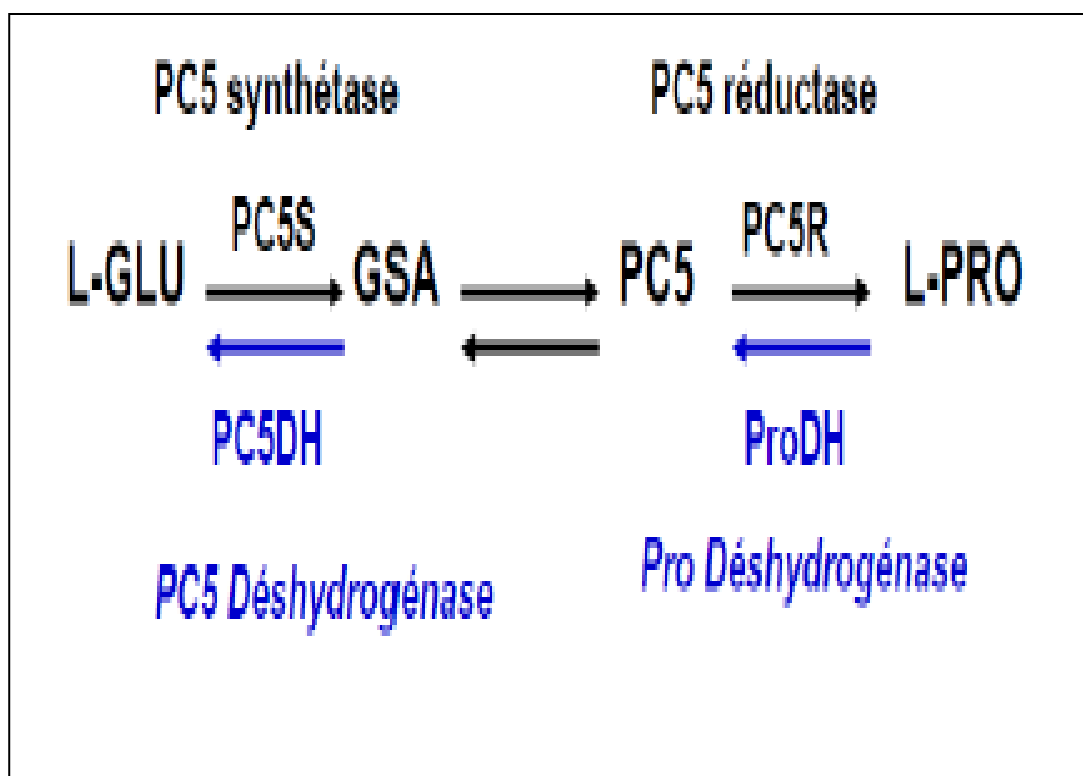


Figure 13 : Biosynthèse de la proline
(Tahri et *al.*, 1998).

13-Accumulation des composés inorganiques

Les composés inorganiques peuvent aussi avoir un effet dans la régulation osmotique et dans la tolérance à la salinité. Il semblerait même que ce type de molécules soit plus efficace que les composés organiques (Hare et *al.*, 1998 in Lamzeri, 2007).

En plus de l'ajustement osmotique, les solutés compatibles ont un rôle dans la stabilisation des membranes. Les osmo-régulateurs préservent l'intégrité des membranes thylakoïdes et plasmiques après un stress salin (Rhodes et Hanson, 1993 in Jabnoute, 2008) Les solutés compatibles ont également une fonction de stabilisation de la conformation des protéines et des propriétés d'antioxydants.

II STRESS HYDRIQUE :

1- Stress hydrique

Le stress hydrique est un problème sérieux dans beaucoup d'environnements arides et semi-arides, où les précipitations fluctuent et où les plantes sont soumises à des périodes plus ou moins longues de déficit hydrique (**Boyer, 1982**).

En effet, un stress hydrique est un phénomène biotique qui intervient lorsque la demande en eau dépasse la quantité disponible pendant une certaine période ou lorsque sa mauvaise qualité en limite l'usage (**Madhava Rao et al., 2006**).

Le stress hydrique entraîne une dégradation des ressources d'eau douce en termes de quantité (surexploitation des eaux souterraines, et rivières asséchées) et de qualité (eutrophisation, pollution par la matière organique, intrusion saline) (**Mouhouche et Boulassel, 1997**).

Le stress hydrique peut se définir comme le rapport entre la quantité d'eau nécessaire à la croissance de la plante et la quantité d'eau disponible dans son environnement, sachant que la réserve d'eau utile pour la plante est la quantité d'eau du sol accessible par son système racinaire (**Laberche, 2004**).

La demande en eau de la plante est quant à elle déterminée par le niveau de transpiration, évapotranspiration, ce qui inclut les pertes d'eau tant au niveau des feuilles qu'au niveau du sol (**Laberche, 2004**).

Le stress hydrique est toute restriction hydrique qui se traduit par une baisse de potentiel de la plante suite à une perturbation de son activité physiologique provoquée par un déficit de consommation en eau (**Mouhouche et Boulassel, 1997**).

2- Stress hydrique et la plante

Selon **Tardieu, (2000)** chez les végétaux, la résistance à la sécheresse et la croissance ne sont pas toujours compatibles. La transpiration des plantes est essentielle au maintien de la température et à la circulation de la sève. Une plante peut perdre jusqu'à trois fois son poids en un jour d'été, lorsqu'elle ne peut plus prélever cette eau dans le sol. Elle doit alors ralentir sa transpiration en fermant ses stomates. Elle évite ainsi la déshydratation, mais réduit en même temps sa photosynthèse. En fait, les racines synthétisent une hormone, l'acide abscissique ou (ABA), d'autant plus rapidement que le sol est sec. L'ABA circule dans la sève brute du xylème et entraîne selon sa concentration la fermeture partielle ou totale des stomates.

Une diminution de la disponibilité en eau du sol et une remontée de sel, font que les stratégies de survie varient d'une espèce à l'autre. En effet, ce sont les limites de tolérance des organismes aux stress écologiques qui déterminent les endroits où ils peuvent vivre (**Dajoz, 1996**).

Les végétaux ligneux sont des êtres fixés, réalisant l'interface entre les milieux édaphiques et aériens. Des échanges d'eau ont lieu de façon indépendante entre le sol, la plante et l'atmosphère **(Cruiziat et Tyree, 1990)**.

Selon **Yeo, 1983**, la résistance d'une plante à un stress indique le maintien de la croissance et de son métabolisme fonctionnel à la différence des espèces animales qui s'échappent de ces conditions.

Pour cela, elle doit supporter le choc chimique et physique engendré par l'environnement en modifiant ses caractéristiques de croissance et de développement.

3- Effet du stress hydrique sur le développement des plantes

3-1- Eau / plante

La richesse en eau des plantes est variable selon les espèces, les organes et les milieux de vie **(Laberche, 2004)**.

Les rôles multiples assurés par l'eau au sein des plantes en font le premier facteur limitant leur fonctionnement. Parmi ces rôles, nous pouvons citer :

- * l'eau contribue au maintien de la structure de la cellule et en particulier de la structure colloïdale du cytoplasme.
- * Elle est le siège des réactions métaboliques.
- * Elle intervient dans les réactions métaboliques comme l'hydrolyse ou la photosynthèse
- * Elle permet la turgescence des cellules et par là même des tissus et des organes.
- * Elle véhicule les nutriments minéraux et les produits du métabolisme.
- * Par son rejet dans l'atmosphère sous forme de vapeur, elle emprunte à la plante sa chaleur latente de vaporisation. Elle permet à celle-ci d'être supportée par les rayonnements solaires et les divers échauffements climatiques.

Les plantes qui ont une activité photosynthétique élevée subissent d'importante perte d'eau, surtout par leur surface foliaire. Par conséquent, des quantités équivalentes d'eau doivent être prélevée dans le sol et circuler dans la plante de façon à combler les déficits qui apparaissent dans les feuilles **(William, 2003)**.

A l'échelle cellulaire l'eau participe au maintien des structures et permet le déroulement du métabolisme. Par la pression de turgescence qu'elle exerce sur les parois, elle contribue au port des végétaux, qui sans elles se flétrissent. Elle commande divers mouvements d'organes (feuilles et étamines) et de cellules (stomates) et elle participe à l'allongement cellulaire. Au niveau de l'organisme, elle sert à véhiculer les substances nutritives, déchets et hormones **(Heller et al., 1998)**. Outre son rôle dans la photosynthèse, dans le transport et l'accumulation des éléments

nutritifs ainsi que dans la division cellulaire et la régulation thermique, l'eau joue un rôle essentiel dans la croissance et le développement des plantes (**Slama et al., (2005)** in **Soualmi, (2008)**). Elle est aussi indispensable au bon fonctionnement des protéines (**Richter, 1993**).

3-1-1-Etats de l'eau dans la plante

Dans la plante, on trouve l'eau liée (immobilisée) dans la cellule, à l'opposé de l'eau libre (d'imbibition) facilement circulante, en stagnant dans des vacuoles. En plus de ces catégories, on trouve de l'eau de constitution, stabilisant la structure tertiaire de certaines macromolécules protéiques et ne pouvant absolument pas être enlevée de ces protéines sans en entraîner la dénaturation (**Mazliak, 1981**).

3-1-2-Teneur en eau des végétaux

Les teneurs en eau, dans les conditions données, dépendent de l'organe et de l'espèce. Elle se détermine en comparant la masse de la matière fraîche à celle de la matière sèche obtenue par dessiccation.

4- Eau dans le sol

L'eau est liée aux constituants du sol par deux catégories de forces : les forces osmotiques qui sont dues aux attractions exercées sur l'eau par les ions de la solution du sol et les forces matricielles qui traduisent les liaisons entre l'eau et la structure figurée du sol (matrice). Il existe des forces d'imbibition dues aux attractions électrostatiques exercées entre les charges (-) des colloïdes et les pôles (+) de l'eau, et les forces capillaires qui sont dues à des phénomènes de tensions superficielle et qui retiennent l'eau dans les interstices fins. Comme les forces osmotiques, les forces capillaires, sauf dans le cas des sols desséchés ou salés, ne posent pas de problèmes à la plante et c'est la plus ou moins grande teneur des sols en colloïdes qui règle, à humidité égale, la disponibilité de l'eau (**Heller et al., 1998**).

5- Mécanismes d'adaptation à la sécheresse

La tolérance d'une plante à une contrainte hydrique peut être définie, du point de vue physiologique, par sa capacité à survivre et à croître. Du point de vue agronomique, par l'obtention d'un rendement plus élevé que celui des plantes sensibles (**Slama et al, 2005**).

Il existe une large gamme de mécanismes de tolérances à la sécheresse qui ne sont pas exclusifs les uns des autres et qui peuvent même être complémentaires (**Jones et al., 1980**). Ces mécanismes sont d'ordre morphologique et physiologique.

Diverses classifications des mécanismes de tolérance à la sécheresse ont été élaborées.

Turner, (2001) a décrit les principaux caractères impliqués dans les trois grands mécanismes, leur utilité et leur facilité d'utilisation pour la sélection.

5-1- Adaptations morphologiques

L'effet de la sécheresse peut se traduire, selon la stratégie adaptative de chaque espèce ou variété, par des modifications morphologiques pour augmenter l'absorption d'eau et/ou pour diminuer la transpiration et la compétition entre les organes pour les assimilés. Ces modifications affectent la partie aérienne ou souterraine : réduction de la surface foliaire, enroulement des feuilles et/ou un meilleur développement du système racinaire (**Slama et al., 2005**)

5-1-1- Système racinaire

L'efficacité de l'extraction de l'eau du sol par les racines est parmi les types d'adaptation permettant à la plante d'éviter ou, plus exactement, de retarder la déshydratation de ses tissus (**Turner et al., 2001**). L'aptitude des racines à exploiter les réserves en eau du sol sous stress est une réponse particulièrement efficace pour l'élaboration de la production de graines (**Passioura, 1977**).

Un système racinaire capable d'extraire l'eau du sol est un trait essentiel pour la tolérance à la sécheresse. Cette caractéristique revêt une importance particulière sur les cultures qui subissent régulièrement des déficits hydriques de fin de cycle (**Subbarao, 1995**).

Son impact sur le rendement est particulièrement élevé car elle intervient directement dans l'efficacité d'utilisation de l'eau en conditions de stress. Un système racinaire extensif permet de mieux résister à un stress hydrique (**Bensalem et al., (1991)** in (**Mazouz, 2006**).

5-1-2 Surface foliaire

La réduction de la surface foliaire, quand le stress hydrique est très important, est un mécanisme de réduction des besoins en eau (**Perrier et al., 1961**) (**O'toole et Cruz, 1980**).

Une diminution de la surface foliaire exposée est citée comme une réponse à long terme des plantes méditerranéennes à l'intensité et à la durée de la période sèche. Les systèmes racinaires profonds agissent pour équilibrer les oscillations de disponibilité d'eau (**Sala et Tenhunen, 1996**).

5-1-3- Réduction du nombre de feuilles

Harouni et al., (1995), mentionnent une réduction au niveau de la production des feuilles sous des régimes hydriques différents. Ces résultats sont en accord avec ceux de **Tazi et al., (2003)** sur la diminution de la croissance de la partie aérienne qui est accompagnée d'une réduction au niveau du nombre des feuilles.

5-2-Adaptations physiologiques

5-2-1 Régulation stomatique

L'eau peut être perdue par toute la surface de la plante, cependant les stomates demeurent la principale voie d'émission de la vapeur d'eau (85 à 100%).

Les stomates sont des ouvertures microscopiques dans l'épiderme des feuilles permettant la transpiration et assurant les échanges gazeux entre la plante et l'atmosphère.

Près de 98% de l'eau absorbée par la plante est perdue par la transpiration. Cette perte est inévitable car les stomates doivent s'ouvrir pour permettre l'entrée du CO₂ et assurer la photosynthèse.

En situation de déficit hydrique, la plante ferme ses stomates pour réduire ses pertes en eau (**Tardieu et Dreyer, 1997**). La régulation, de l'ouverture et la fermeture des stomates dépend du potentiel hydrique foliaire et de l'humidité de l'air au champ (**Turner, 1997**). Une faible conductance stomatique induit une fermeture des stomates rapide en conditions de déficit hydrique.

Cependant la fermeture stomatique réduit l'assimilation du CO₂ et conduit inévitablement à une réduction de l'activité photosynthétique.

En conséquence, l'intérêt d'une réponse stomatique plus ou moins rapide au déficit hydrique résulte d'un compromis entre la réduction de l'assimilation du CO₂ et la nécessité d'éviter la déshydratation (**Ludlow et Muchow, 1990**).

L'effet de l'acide absicique (ABA) en tant qu'inducteur de la fermeture stomatique a été largement étudié (**Wartinger et al., 1990; Davies et Zhang, 1991**), mais il y'a encore des incertitudes sur son origine et sur sa contribution exacte à ce phénomène (**Dreyer, 1997**). Le signal de la fermeture stomatique en conditions de sécheresse a été attribué à une production de l'acide abscissique (ABA) par les racines (**Meinzer et Grantz, 1990**), mais l'état hydrique de la plante entière reste un facteur important à considérer car il intervient sur la sensibilité des stomates à la concentration d'ABA (**Salah et Tardieu, 1997**).

5-2-2- potentiel hydrique et ajustement osmotique

La diminution du potentiel hydrique du sol en conditions de sécheresse provoque une perte importante de la turgescence au niveau de la plante (**Henchi, 1987**). L'augmentation de la production, dans ces conditions, dépend des mécanismes de tolérance qui assurent l'hydratation cellulaire et diminuent la perte en eau en maintenant un statut hydrique favorable au développement foliaire (**Sorrells et al., 2000**). Le maintien d'un potentiel hydrique élevé est lié à l'aptitude à extraire l'eau du sol et à la capacité à limiter les pertes d'eau par transpiration (**Turner, 1986**).

Dans le cas d'abaissement du potentiel hydrique, la tolérance s'exprime par un maintien de la turgescence, rendue possible grâce au phénomène d'ajustement osmotique qui est liée à la capacité, du végétal, à accumuler, au niveau symplasmique et de manière active, certains solutés (**Blum, 1988**).

L'ajustement osmotique apparaît donc comme un mécanisme majeur d'adaptation à la sécheresse : il permet le maintien de nombreuses fonctions physiologiques (photosynthèse, transpiration et croissance) une protection des membranes et des systèmes enzymatiques (**Santarius, 1973**), en particulier au niveau des organes jeunes (**Morgan, 1984**).

Le mécanisme d'ajustement osmotique permet de maintenir la conductance stomatique et la photosynthèse à des potentiels hydriques foliaires bas, par ajustement du potentiel osmotique. Il intervient aussi en retardant la sénescence foliaire et en améliorant l'extraction de l'eau par les racines (**Turner, 1997**).

5-2-3- Accumulation de la proline sous stress

La proline est un acide aminé considérée comme un osmoprotectant qui s'accumule dans le cytosol. En présence d'un stress hydrique, la teneur en proline augmente dans différents organes de la plante (tige, racine, et feuille). Cette augmentation serait due à la synthèse de la proline.

Dans le cas de la sécheresse l'accumulation de la proline apparaît comme une des premières manifestations de la résistance du végétal ; elle a un rôle de régulateur osmotique en maintient la pression osmotique élevée mais aussi grâce à ses hydroxyles qui stabilisent la membrane.

Des cellules soumises à un stress hydrique (osmotique) par une exposition à des concentrations hypertoniques de polyéthylène glycol (PEG) répondent d'abord par une perte de turgescence puis une accumulation rapide de proline. Cependant au fur et à mesure de l'accumulation de proline, la turgescence réapparaissait (**Handa et al., 1986**).

La proline est synthétisée à partir de l'acide glutamique, une réaction qui se déroule entre γ - carboxyle du glutamique et la molécule d'ATP pour former l'acyle phosphate et donne γ – glutamyl phosphorique, NADPH et donne la proline (**Stryer, 1992 ; Taylor, 1996**).

L'accumulation de la proline (composé aminé) est l'une des manifestations les plus remarquables du stress hydrique. Le taux de la proline dans la sève du xyleme augmente considérablement lors d'un stress hydrique. L'osmorégulation des organes déjà développés, montre de fortes concentrations de proline dans la sève brute lors d'un stress hydrique (**Girousse et al., 1996**).

5-2-4 Accumulation des sucres solubles sous stress

Bensari et al., (1990) montrent que lorsque la contrainte hydrique cesse, la feuille reconstitue les réserves d'amidon et si une nouvelle contrainte hydrique intervient, le temps d'adaptation est plus court. En effet, **Hare et Cress, (1997)** remarquent que les sucres glucose, fructose et le saccharose représentent des osmotocums beaucoup moins puissants que la proline, ils participent eux aussi au maintien de la balance de la force osmotique.

Par ailleurs, il a été observé que sous stress hydrique, les réserves amylacées sont progressivement utilisées suite à leur conversion rapide en saccharose qui pourra être associé à une inhibition de la synthèse de l'amidon (**Geigenberger et al., 1997**).

Depuis longtemps, il est connu que le taux des sucres augmente considérablement chez des plantes soumises aux différents types de stress. Cela a été vérifié par **Chunyang, (2003)** chez des arbres adultes d'eucalyptus sous différents stress hydriques.

Les principaux sucres solubles accumulés sous stress sont : le glucose, le fructose et le saccharose (**Hare et al., 1998**) et ces derniers semblent jouer un rôle très important dans le maintien d'une pression de turgescence qui est à la base des différents processus contrôlant la vie d'une plante.

4-3-5- pigments photosynthétiques

La photosynthèse est un phénomène physiologique par lequel certains organismes vivants comme les algues et les plantes vertes convertissent l'énergie solaire en énergie chimique accumulée à l'intérieur des molécules organique (ATP). Le processus de photosynthèse est réalisé grâce aux chlorophylles et les caroténoïdes (pigments accessoires).

4-3-5-1 Chlorophylles

Les chlorophylles des plantes supérieures sont représentées par la chlorophylle a (Chl _(a)) et la chlorophylle b (Chl _(b)).

La chlorophylle (a) est un pigment photosynthétique le plus commun du règne végétal; il est présent chez tous les végétaux aquatiques et terrestres. La chlorophylle b (Chl (b)) est un pigment accessoire.

Les chlorophylles (a) et (b) sont localisés dans les membranes thylacoïdales. La chlorophylle (b) se trouve chez les eucaryotes (végétaux supérieurs) et les chlorophycées (algues vertes) à des teneurs moindres.

5-3-6-Statut hydrique de la plante

. Teneur relative en eau :

La teneur en eau relative (TRE) ou « relative water content » (RWC) est une ancienne méthode, qui reste très utilisée actuellement, afin d'estimer la quantité d'eau dans la plante au moment du stress hydrique.

Elle consiste à déterminer le pourcentage de la quantité d'eau présente dans les feuilles.

La teneur relative en eau est fortement liée à l'environnement c'est à dire que la variation de la quantité de l'eau dans le milieu influe sur la quantité de l'eau dans les plantes. Cette teneur élevée permet le maintien de la turgescence cellulaire chez les plantes puis l'ouverture des stomates et par la suite la photosynthèse conduisant à l'assimilation du carbone et l'élongation cellulaire. Les valeurs normales de la (TRE) est d'environ 98% dans les feuilles gorgées d'eau et transpirantes (tissus en turgescences) et 40% dans les feuilles desséchées.

CHAPITRE III
MATERIEL ET METHODES

1-Objectif du travail

Notre travail consiste à l'étude de l'effet de stress salin et stress hydrique sur le comportement et la croissance des plantules de deux provenances de pistachier de l'Atlas.

Cette expérimentation permet de suivre la réaction ainsi que la tolérance et l'adaptation des plantules de pistachier de l'Atlas aux conditions difficiles.

2-Site expérimental

Nous avons réalisé notre travail au sein du laboratoire des biotechnologies des productions végétales du département de biotechnologies de la faculté des sciences de la nature et de la vie de l'université Blida1.

3-Matériel végétal et conditions de culture

Au cours de notre expérimentation, nous avons utilisé des drupes mûres des arbres de pistachier de l'Atlas. Ces derniers, se trouvent à l'état naturel dans la wilaya de Djelfa et de Médéa. Les graines ont été récoltées en septembre (2015) sur des arbres adultes âgés d'environ 50 ans. Nous avons conservé les graines dans un sachet en papier kraft à l'abri de l'humidité jusqu'à leur utilisation.

4-Préparation des graines

Les étapes suivantes sont nécessaires pour faire germer les semences :

- Choix des semenciers
- Uniformisation des graines (même calibre)
- Test de flottaison, qui consiste à éliminer les graines qui flottent et décortication des brous.
- Elimination de l'épicarpe qui consiste à tremper les graines dans de l'eau du robinet pendant 24 heures afin de ramollir l'épicarpe.

La levée de la dormance est une étape primordiale. Pour cela, nous avons adopté les techniques suivantes :

- ✓ Une stratification consistant à faire subir aux graines un traitement au froid à une température de 4°C pendant 30 jours.
- ✓ Elimination du mésocarpe par stratification mécanique à l'aide d'un outil tranchant.
- Trempage dans l'hypochlorite de sodium (NaClO) à 8% pendant 5 minutes pour éviter la prolifération des champignons et les contaminations.

- Rinçage à l'eau distillée (3rincages).

5- Stade germinatif

Les graines au nombre de 25 sont mises à germer dans des boîtes de Pétri de 9 cm de diamètre contenant du coton hydrophile tapissé de papier filtre.

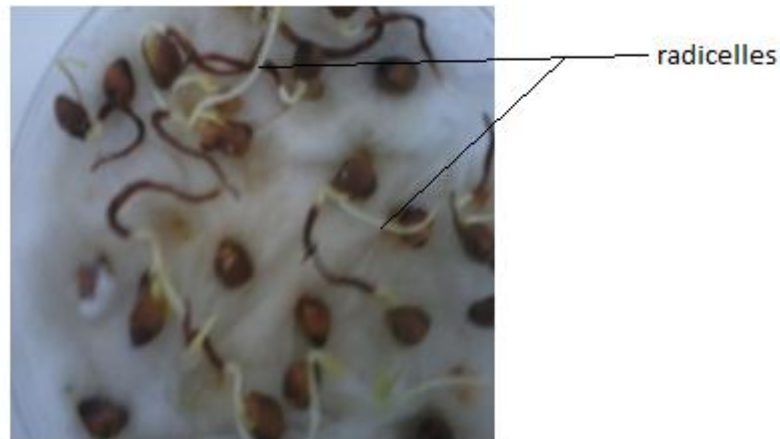


Figure 14 : germination des graines

6-Etude du stress

Après germination, les plantules sont repiquées individuellement dans des gobelets en plastique, remplis de tourbe stérile et mises dans une mini-série.

Les plantules ont été arrosées avec l'eau de robinet pendant 15 jours pour favoriser leur reprise avant l'application des stress (salin et hydrique).

6-1 Stress salin

Les solutions salines sont préparées en mélangeant le chlorure de sodium (Na Cl) avec de l'eau distillée au niveau du laboratoire.

Cet essai consiste à préparer cinq (05) concentrations différentes avec un témoin à savoir :

T₀: Traitement témoin (0 g/l) de NaCl

T₁: 3 g/l de NaCl

T₂: 6g/l de NaCl

T₃: 9g/l de NaCl

T₄: 12g/l de NaCl

Nous avons arrosé les plantules un jour sur deux à raison de 10 ml/gobelet , avec les solutions salines déjà préparées.



Figure 15 : Mise en place dans la serre.

Le chlorure de sodium utilisé lors de notre expérimentation est un sel sans couleur, caractérisé par sa très grande solubilité dans l'eau. Son poids moléculaire est de 58,44 ($\text{Na Cl} = 58 \text{ g/mol}$).

Dans le cristal, les ions Na^+ et Cl^- s'alternent. Les ions de chaque type forment un treillis cubique face au centre, dans lequel chaque ion est entouré par six ions de l'autre type, le chlorure de sodium est fortement transparent à la lumière.

Le point de fusion de NaCl est de 801°C . Le point d'ébullition est de 1465°C , sa densité est de $2,16 \text{ g/cm}^3$ à 25°C .

6-2 Stress hydrique

Après trois mois, les plantules au nombre de 25 ont subi un stress hydrique induit par un arrêt d'arrosage de 5, 10 et 15 jours. D'autres plantules ont été arrosées à l'eau distillée et considérées comme témoins.

8-Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental adopté au cours de notre expérimentation est un bloc aléatoire complet sans contrôle d'hétérogénéité à randomisation totale. Chaque traitement est répété trois fois. Les données relatives à chaque essai ont fait l'objet d'une analyse de variance à l'aide d'un logiciel SYSTAT 13.

T_{M2}	T_{M0}	T_{M3}	T_{M4}	T_{M1}
T_{M3}	T_{M4}	T_{M1}	T_{M2}	T_{M0}
T_{M1}	T_{M3}	T_{M4}	T_{M0}	T_{M2}

Figure 16 : Dispositif expérimental adopté pour le stress salin au stade plantule

(Région de Médéa)

T_{M0}	T_{M1}	$T_{M0'}$	T_{M3}	$T_{M0''}$	T_{M2}
$T_{M0'}$	T_{M0}	$T_{M0''}$	T_{M2}	T_{M3}	T_{M1}
T_{M3}	T_{M2}	T_{M1}	$T_{M0'}$	T_{M0}	$T_{M0''}$

Figure 17 : Dispositif expérimental adopté pour le stress hydrique au stade plantule

(Région de Médéa)

T_{D2}	T_{D0}	T_{D3}	T_{D4}	T_{D1}
T_{D3}	T_{D4}	T_{D1}	T_{D2}	T_{D0}
T_{D1}	T_{D3}	T_{D4}	T_{D0}	T_{D2}

Figure 18 : Dispositif expérimental adopté pour le stress salin au stade plantule

(Région de Djelfa).

T_{D0}	T_{D1}	$T_{D0'}$	T_{D3}	$T_{D0''}$	T_{D2}
$T_{D0'}$	T_{D0}	$T_{D0''}$	T_{D2}	T_{D3}	T_{D1}
T_{D3}	T_{D2}	T_{D1}	$T_{D0'}$	T_{D0}	$T_{D0''}$

Figure 19 : Dispositif expérimental adopté pour le stress hydrique au stade plantule

(Région de Djelfa)

9- Paramètres étudiés

Afin de déterminer l'effet des différents traitements de NaCl et le stress hydrique sur le pistachier de l'Atlas, des paramètres biométriques, physiologiques et biochimiques ont été mesurés.

9-1-Croissance en longueur

La croissance en longueur de la partie aérienne et racinaire est évaluée après arrachage des plantules. Nous avons alors séparé la partie aérienne de la partie souterraine, pour cela, nous avons lavé soigneusement les racines avant de les sécher rapidement avec du papier absorbant.

La longueur de la tige et de la racine principale est mesurée en millimètres (mm) à l'aide d'une règle graduée. Les valeurs données sont les moyennes obtenues des 3 répétitions/traitement.

9-2-Croissance pondérale

La biomasse sèche aérienne (BSA) et racinaire (BSR), exprimée en grammes a été effectuée par pesée de la matière sèche après étuvage à $80\pm 5^{\circ}\text{C}$ de la matière fraîche pendant 48 heures.

Le rapport de la partie aérienne et racinaire est défini par la longueur de la racine/longueur de la tige (LR/LT). Le deuxième rapport étudié étant celui de la biomasse sèche racinaire/biomasse sèche aérienne (BSR/BSA). Ces deux rapports sont déduits à partir des valeurs moyennes des longueurs et des poids de la matière sèche.

9-3-Teneur relative en eau

La teneur relative en eau (TRE) ou relative water content (RWC) est une méthode qui exprime la quantité d'eau présentée en pourcentage de la quantité mesurée à saturation et permet une évaluation physiologique de l'état hydrique du végétal.

La teneur relative en eau (RWC) a été mesurée sur une feuille bien développée selon la méthode de **Barrs et Weathrley, (1962)**.

Le limbe foliaire excisé à sa base est pesé pour déterminer le poids frais (Pf). Son extrémité coupée est ensuite placée dans un tube à essai contenant de l'eau distillée et placé à l'obscurité à 2°C pendant 24 heures. La pesée de la feuille après la réhydratation donne un poids de réhydratation (Pr).

Le poids sec (Ps) est déterminé après passage des échantillons dans l'étuve à 80°C pendant 48 heures. La RWC est calculée à partir de l'équation suivante :

$$\text{RWC (\%)} = (\text{Pf} - \text{Ps} / \text{Pr} - \text{Ps}) * 100$$

Pf = poids frais,

Pr = poids à saturation,

Ps = poids sec

9-4 Dosage de chlorophylle

Pour chaque essai nous avons prélevé 0.1 mg de matière végétale sur les tiers médians des plus jeunes feuilles. Les fragments végétaux sont broyés dans 10 ml d'acétone à 80%.

Le mélange est mis dans des tubes à essais et placés à l'obscurité pendant 48 heures. La densité optique (DO) de la totalité des surnageants obtenus est mesurée à 470 nm et 645 nm et 663 nm (spectrophotomètre Perkin Elmer Lambda 5 U.V). la méthode de **Francis et al., (1970)** in **Chebab, (2012)** est utilisée pour les calculs :

$$\text{- Chlorophylle (a) } (\mu\text{g /g MF}) = 12.6 * \text{DO}_{663} - 2.59 * \text{DO}_{645} * V / (1000 * W)$$

$$\text{- Chlorophylle (b) } (\mu\text{g /g MF}) = 22.9 * \text{DO}_{645} - 4.68 * \text{DO}_{663} * V / (1000 * W)$$

V: volume de solution extraite.

W: poids de la matière fraîche de l'échantillon.

9-5- Dosage de la teneur en proline

La méthode utilisée est celle de **Troll et Lindsley, (1955)**, améliorée et citée par **Dreier et Garing, (1974)** in **Bouchoukh, (2010)**

Cette technique consiste à prendre 100 mg de matière végétale sur le tiers médian de l'avant dernière feuille puis on ajoute 2 ml de méthanol à 40 %. Le mélange est chauffé au bain-Marie à $85 \pm 3^\circ\text{C}$ pendant 60 mn. Après refroidissement, 1 ml d'extrait est prélevé auquel il faut ajouter :

- 1 ml d'acide acétique (CH_3COOH),
- 25 mg de ninhydrine ($\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_4$),
- 1 ml de mélange contenant : de l'eau distillée, acide acétique, acide ortho phosphorique (Annexe1).

Le mélange est porté à ébullition pendant 30 minutes où la solution devient rougeâtre. 5 ml de toluène sont rajoutés à la solution qui est agitée. Deux phases se séparent, on laisse refroidir et on déshydrate la phase supérieure par l'ajout d'une spatule de sulfate de sodium (Na_2SO_4 anhydre), la densité optique (DO) est mesurée à 528 nm en utilisant le spectrophotomètre. Les valeurs obtenues sont converties grâce à la courbe étalon établie à partir d'échantillon contenant des quantités de proline connues (Annexe2).

9-6-Dosage de la teneur en sucres solubles

Nous avons procédé au dosage des sucres solubles dans les feuilles des plants selon la méthode de Dubois, (1956). Pour l'extraction des sucres solubles :

-Mettre 100mg de matière végétale dans des tubes à essai puis ajouter 2ml d'éthanol à 80%. Laisser les tubes fermés au repos pendant 48h.

-Faire évaporer l'alcool en mettant les tubes à essais dans un bain Marie à 70°C.

-Après refroidissement, on ajoute 20 ml d'eau distillé dans chaque tube à essais.

-Ajouter 5 ml d'acide sulfurique concentré, dans chaque tube à essais puis les passer au vortex, puis les laisser au repos pendant 10 mn puis les passer au bain marie pendant 15 mn à 30°C.

-Procéder à la lecture au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 940 nm.

La détermination de la teneur des sucres solubles est réalisée selon la formule :

$$\text{Sucres solubles } (\mu\text{g/MS}) = \text{DO}_{490} \times 1.657$$

-

CHAPITRE V
RESULTATS ET DISCUSSION

1 Effet du stress salin sur les paramètres morphologiques

Après 15 jours du stress salin, les plantules dont les graines proviennent de de la région de Médéa traitées par 12g/l ont subi un dessèchement. Nous avons alors décidé d'arrêter l'expérience et procéder aux différentes mesures et analyses.

1-1- Longueur de la tige

Les différentes concentrations de NaCl utilisées dans le milieu ont un effet sur la croissance en longueur des tiges chez le *Pistacia atlantica* (figures 20).



Figure20 : Comparaison des plantules de *Pistacia atlantica* de la région de Djelfa TD0 0g/l et TD2 6g/l

Ces résultats sont confirmés par l'analyse de la variance à un seul critère de classification qui montre une différence hautement significative entre les moyennes de la longueur des tiges pour les différents traitements : ($p < 0,016$).

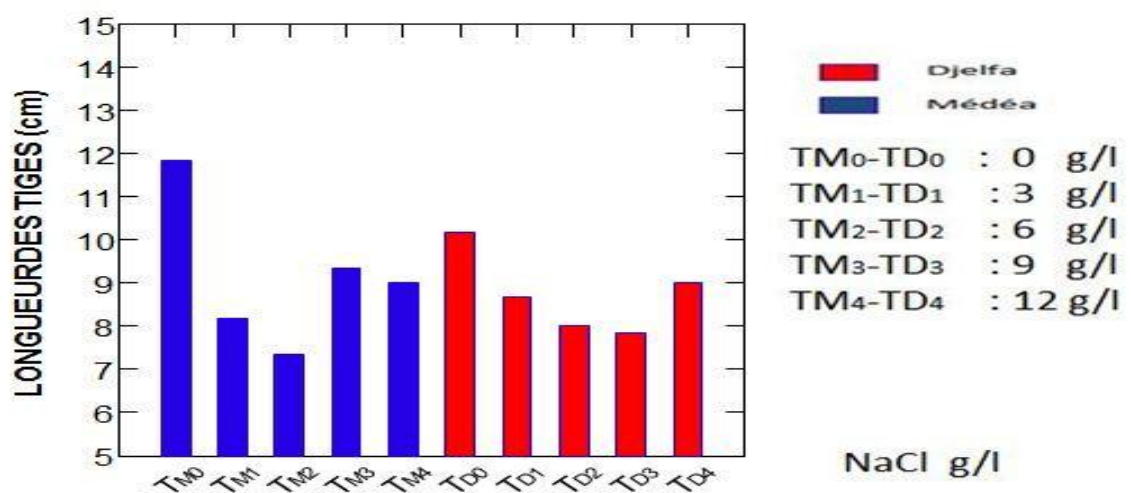


Figure21 : Longueur des tiges du *Pistacia atlantica*

L'allongement le plus important de la tige avec une moyenne de 11.83 cm pour le traitement TM_0 (0g/l) cm et de 10.16 cm pour TD_0 (figure 21). La valeur minimale est enregistrée pour le traitement, TM_2 (6g/l) et TD_3 (9g/l) avec une longueur moyenne ne dépassant pas les 7.33cm et 7.83 cm. Ces réductions se sont révélées proportionnelles aux doses de NaCl utilisées .La dose de 12g/l a provoqué une croissance en longueur inférieure à celle enregistrée chez les plantules témoins.

1-2-Longueur de la racine

Les résultats obtenus montrent que le stress salin induit par les différents traitements de NaCl n'influe pas que sur la croissance en longueur de la partie aérienne mais également celle de la partie souterraine (figure 22).

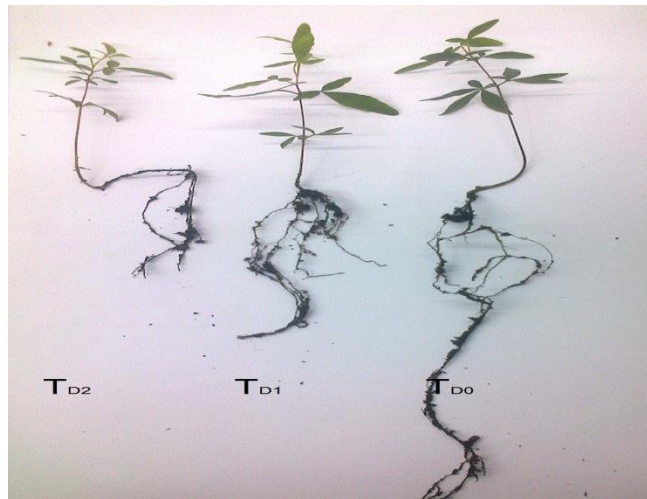


Figure 22 : Comparaison des plantules du *Pistacia atlantica* soumise à une concentration de NaCl de 0g /l, 3g/l et 6g/l.

L'analyse de la variance à un critère de classification confirme ces résultats en montrant une différence significative entre les moyennes de la longueur des racines chez le *Pistacia atlantica* ($p \leq 0,016$).

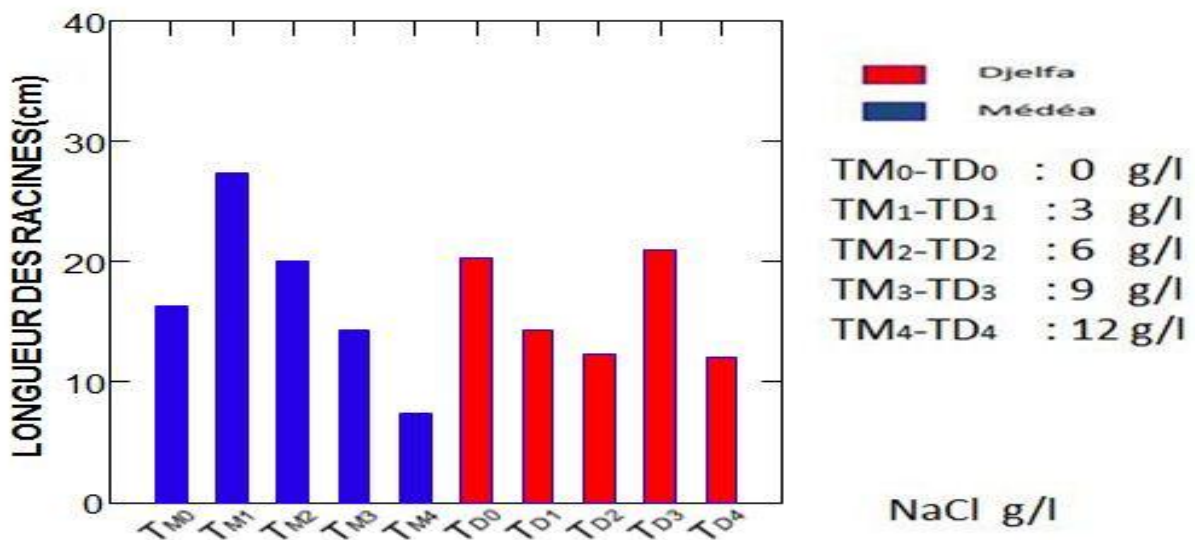


Figure 23 : Longueur des racines (cm) du *Pistacia atlantica*

L'allongement le plus important de la racine est enregistré au niveau du traitement TM_1 (3g/l) avec 27.33 cm (Figure 23). Au-delà de ce traitement, chez les écotypes de Médéa nous observons une diminution progressive de la longueur de la partie souterraine des plantules stressées jusqu'à atteindre une valeur minimale de 7.33 cm. La longueur de la racine au niveau des plantules subissant le stress à 12g/l (TD_4) pour l'écotype de Djelfa montre une longueur de la racine (12 cm) est nettement inférieure à (12 cm) la longueur de la racine des plantules témoins.

1-3-Variation du nombre de feuilles

La figure 24 montre que plus la contrainte saline devient sévère, plus il existe une variance du nombre de feuilles . Par ailleurs, la valeur maximale du nombre de feuilles est observée chez les plantules témoins, (TM_0 - TD_0) où nous notons une moyenne respective de 8 et 8.33 feuilles.

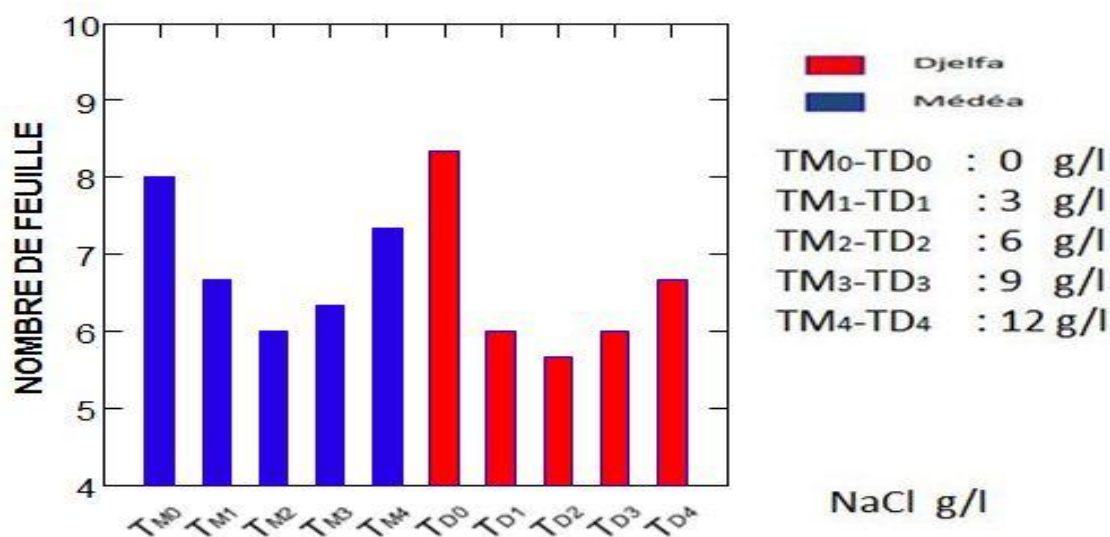


Figure 24 : Nombre de feuilles des plantules de *Pistacia atlantica*.

Chez les plantules traitées aux concentrations plus fortes, nous remarquons que le nombre de feuilles diminue respectivement chez les plantules traitées par 6, 9 g/l pour les deux écotypes de Médéa et Djelfa avec des valeurs moyennes respectives estimées à 6,63 feuilles pour l'écotype de Médéa et de 5,66 et 6 feuilles pour l'écotype de Djelfa.

Les résultats sont confirmés par l'analyse de la variance au seuil de 5%, qui montre qu'il y'a une différence hautement significative entre les moyennes du nombre de feuilles ($p=0.085$).

1-4-Biomasse fraîche de la partie aérienne

Le poids frais de la partie aérienne (tiges + feuilles) est caractérisé par une grande influence aux différentes concentrations salines utilisées ($p=0.022$), ceci explique qu'il y'a une réduction significative de la production de la matière fraîche aérienne.

Cette constatation est observée chez les plantules ayant subi un stress à 9g/l et 12g/l (Annexe 5).

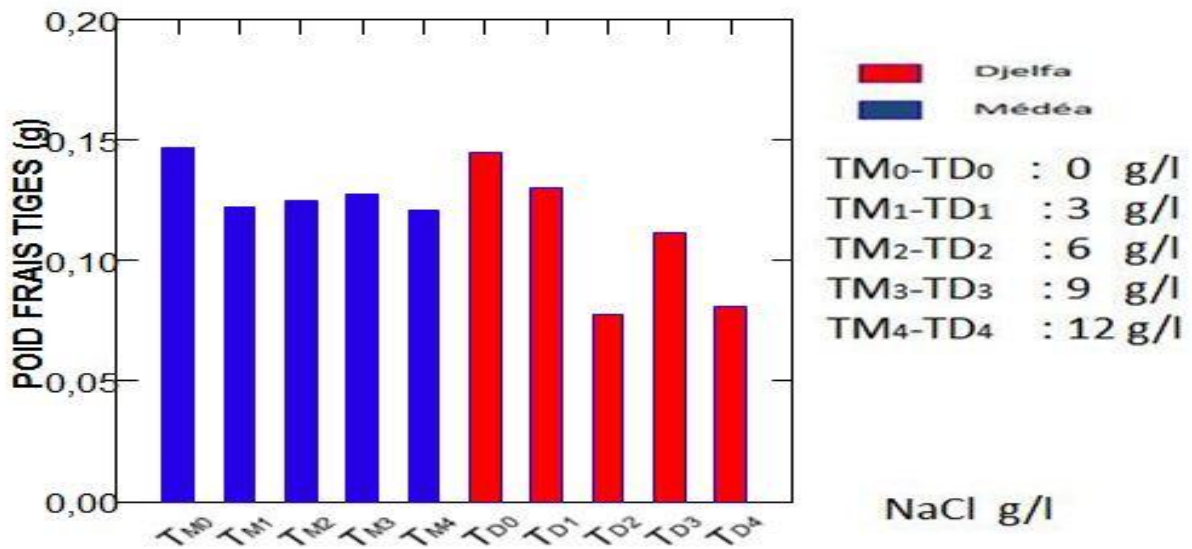


Figure 25 : Biomasse fraîche de la partie aérienne

Le traitement des résultats représentés par la figure 25, montre que sous arrosage à l'eau, les plantules témoins (TM0-TD0) présentent le poids le plus important avec une moyenne respective de 0.146g et 0.144g. En revanche, chez les plantules arrosées avec les solutions salines élaborent moins de matière sèche ainsi, la valeur enregistrée chez les plantules arrosées à 12g/l est estimée à 0.12g et 0.08g.

1-5-Biomasse fraîche de la partie souterraine

Les résultats concernant le poids frais de la partie souterraine. montre que les plantules arrosées par la solution saline à 3 et 6g/l présentent un poids moyen le plus élevé chez les plantules avec une valeur moyenne respectivement de 0.20 ; 0.29 g, suivie par les plantules stressées à 9g /l et le témoin qui ont enregistré respectivement des valeurs de 0.69g ,0.30g (figure 27).

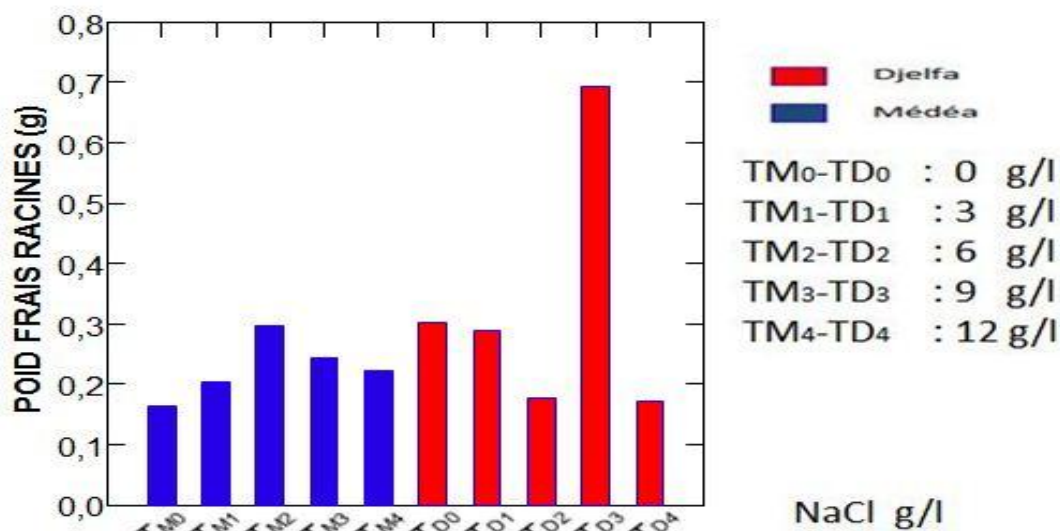


Figure 26 : Poids frais (g) des racines de plantes de *Pistacia atlantica*

L'analyse de la variance au seuil de 5% révèle que chez les plantules, le traitement salin a un impact très hautement significatif sur la production de la matière sèche du système racinaire. Ceci est vérifié par les probabilités calculées ($P < 0.00$) (Annexe 5).

1-6-Biomasse sèche de la partie aérienne

Les plantules témoins (TD0 et TM0) arrosées uniquement à l'eau présentent le poids le plus important avec une moyenne de 0.074g et 0.03 (figure 27).

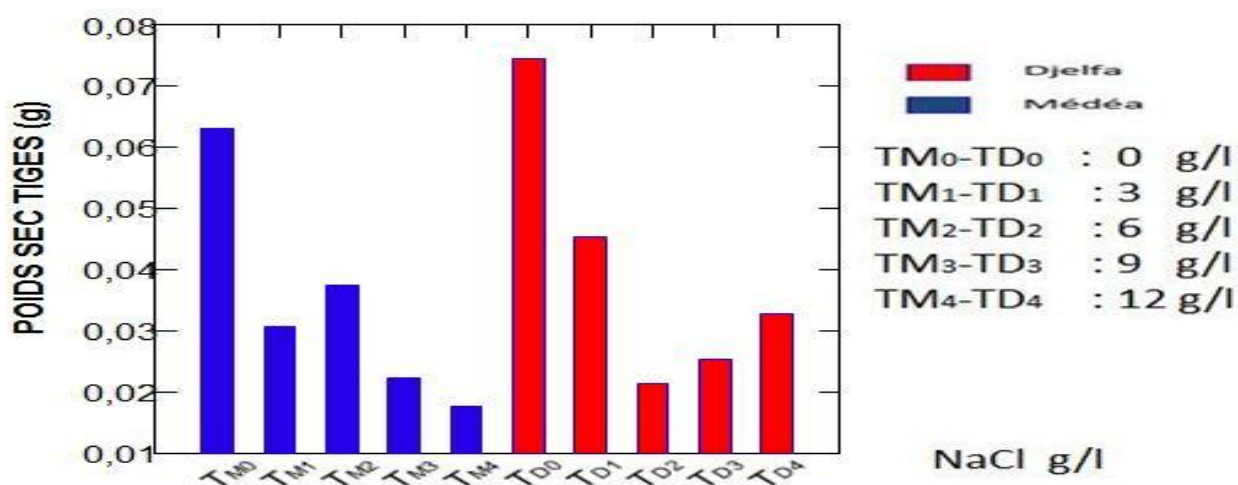


Figure 27 : Biomasse sèche de la partie aérienne

Le poids sec de la partie aérienne (tiges + feuilles) est caractérisé par une grande influence des différentes concentrations salines ($p=0.000$), ceci explique qu'il y'a une réduction très hautement significative de la production de la matière sèche aérienne. Cette constatation est observée chez les plantules ayant subi un stress à 9g/l et 12g/l (région de Médéa), pour ce qui est des plantules de la région de Djelfa, les valeurs faible sont enregistrées pour T_{D2} et T_{D3} avec respectivement de 0.021g et 0.025g (Annexe 4).

1-7-Biomasse sèche de la partie souterraine

Les plantules issue des graines provenant de la région de Médéa arrosées par la solution saline à 3 et 6g/l et le témoin présentent un poids moyen plus élevé avec une valeur moyenne respective de 0.041 ; 0.05 g et 0.055g suivie par les plantules stressées à 9g /l et 12g/l qui elles enregistrent une valeur plus faible avec respectivement 0.029g et 0.020g (figure 28). Pour les plantules de provenant de la région de Djelfa , on constate une diminution progressive de la valeur maximale enregistrée chez T_{D0} avec une valeur de 0.072g ou elle diminue à une valeur de 0.024g(T_{D4}).

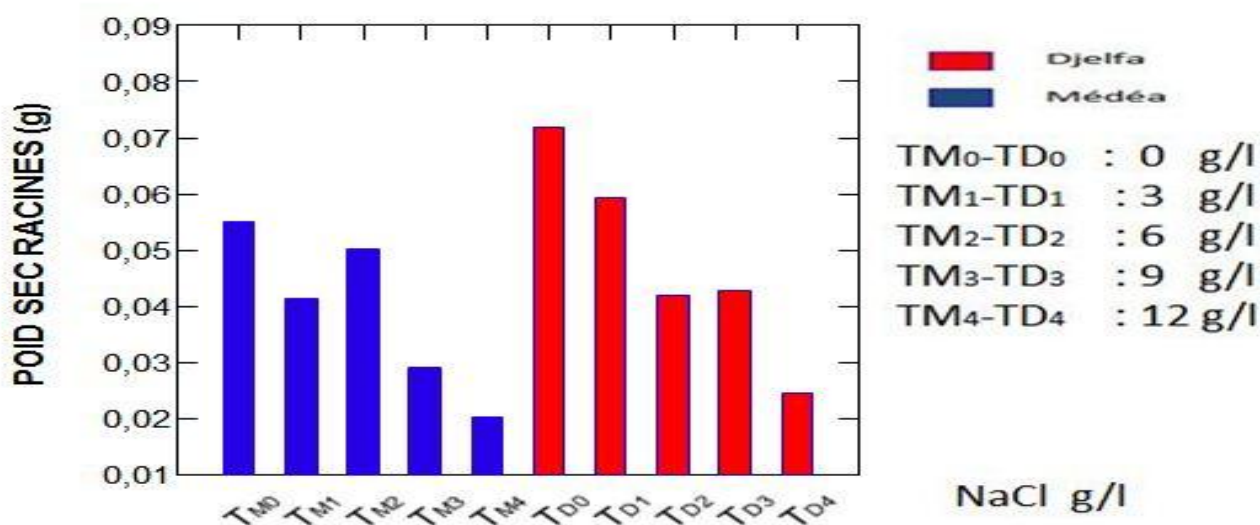


Figure 28 : Poids sec (g) des racines de plantules de *Pistacia atlantica*

L'analyse de la variance au seuil de 5% révèle que chez les plantules, le traitement salin a un impact très hautement significatif sur la production de la matière sèche du système racinaire. Cette constatation est vérifiée par les probabilités calculées ($P<0,00$) (Annexe 4).



Figure 29 : Dessèchement des plantules de *Pistacia atlantica*
(Après 15 jours du stress à 12g/l de NaCl).

La figure 29 représente un dessèchement de la jeune plantule après l'application d'un stress salin d'une concentration de 12 g/l sur une durée de 15 jours

DISCUSSION

La tolérance à la salinité du pistachier de l'Atlas a été étudiée à travers leur capacités de développement en présence de NaCl. En effet, la longueur des tiges et racines, le poids frais et sec de la tige et de la racine ainsi, varient en fonction du niveau de stress salin.

Les faibles concentrations de NaCl (3 et 6 g/l) induisent une augmentation significative des paramètres étudiés. L'augmentation des concentrations, en revanche, provoque des effets inverses.

L'étude de la relation entre le taux de la salinité et les paramètres morphologiques révèle que la partie racinaire est beaucoup plus stimulée par rapport à la partie aérienne en présence du sel.

Le développement de la partie racinaire au dépend de la partie aérienne est considéré par plusieurs auteurs comme un critère de résistance à la salinité. Il permettrait l'extraction de l'eau des milieux salés et à la conserver, ce qui permet le maintien d'une teneur relative en eau plus élevée (**Soualem, 2005**).

En revanche, des études antérieures ont montré que le stress salin induit un retard de la croissance de la tige et de la racine chez le pistachier de l'Atlas (**Benhassini et al., 2012**).

Des auteurs avaient montré que les plantes soumises aux stress abiotiques (salin et hydrique) ont tendance à réduire la surface d'évaporation par la diminution de la surface foliaire

Cette diminution est une des réponses des végétaux à la déshydratation, elle contribue à la conservation des ressources en eau, ce qui permet la survie de la plante en limitant l'évaporation

(Lebon *et al.*, 2004).

Les symptômes de toxicité ionique ont été constaté chez les plantules arrosées par les solutions de 9 et 12 g/l avec l'apparition des nécroses au niveau des feuilles jusqu'au dessèchement presque total après 21 jours de stress.

La réponse morphologique des plantules du pistachier de l'Atlas confirme les résultats de **Oukara *et al.*, (2014)**, qui ont démontré qu' une concentration de 5g/l de sel provoque une stimulation de la germination des graines chez le pistachier de l'Atlas avec des valeurs supérieures au témoin, ce qui reflète la caractéristique halophyte de l'espèce.

2-Effet du stress salin sur les paramètres physiologiques

2-1-Teneur Relative en Eau (TRE)

La teneur relative en eau (TRE) augmente par rapport au témoin. Les plantules traitées à 0g/l et 12g/l de NaCl enregistrent des teneurs en eau dans leurs feuilles de l'ordre de 48.08% et 66.58% respectivement pour l'écotype de Médéa.

Au-delà, de cette concentration ce paramètre subit un équilibre pour les plantules traitées par 9g/ et 12g /l avec respectivement 59.28% ,59.59% pour l'écotype de Djelfa (figure30).

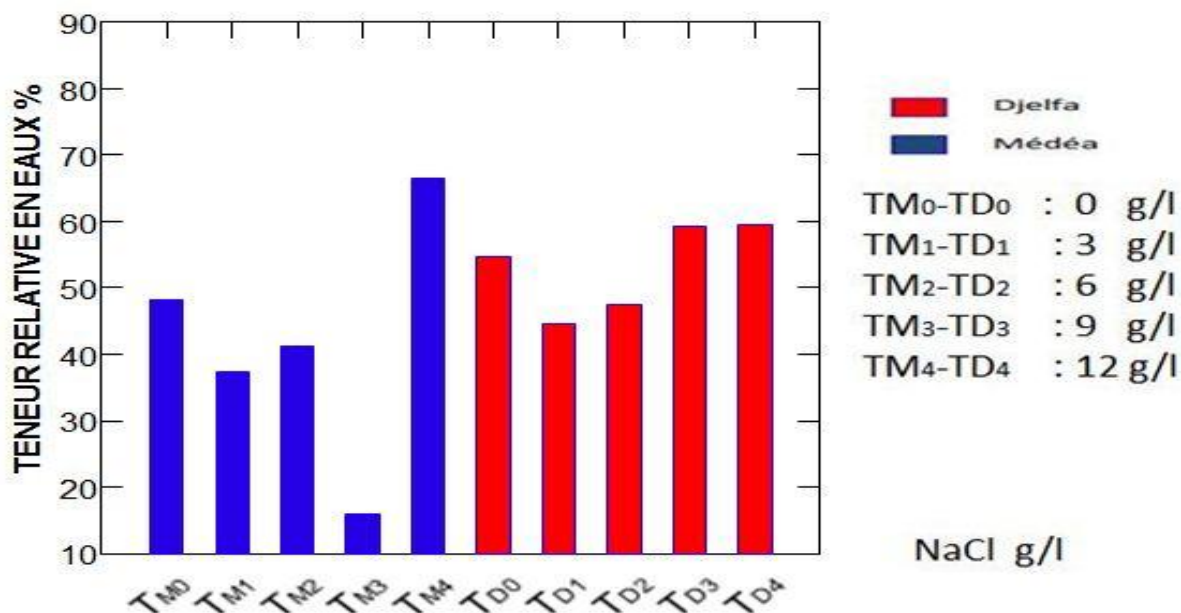


Figure30 : Teneur Relative en eau des feuilles des plantules.

L'analyse de la variance à un seul critère de classification (5%) montre une différence très hautement significative entre les moyennes de la teneur relative en eau des feuilles pour les différents traitements : ($p=0,00$).

2-2-Teneur en chlorophylle

Les résultats obtenus montrent que le stress salin influe sur la moyenne de la teneur en chlorophylles (a) et (b) chez le pistachier de l'Atlas (Figures 31 et 32).

2-2-1 Chlorophylle (a)

Les moyennes les plus élevées de la teneur en chlorophylle (a) sont enregistrées pour le témoin (T_{D0}) et les traitements T_{D4} (12g/l), T_{D3} (9g/l). La teneur diminue considérablement pour les traitements T_{D2} (6g /l) et T_{D3} (12g /l) pour l'écotype de Djelfa (Figure 31).

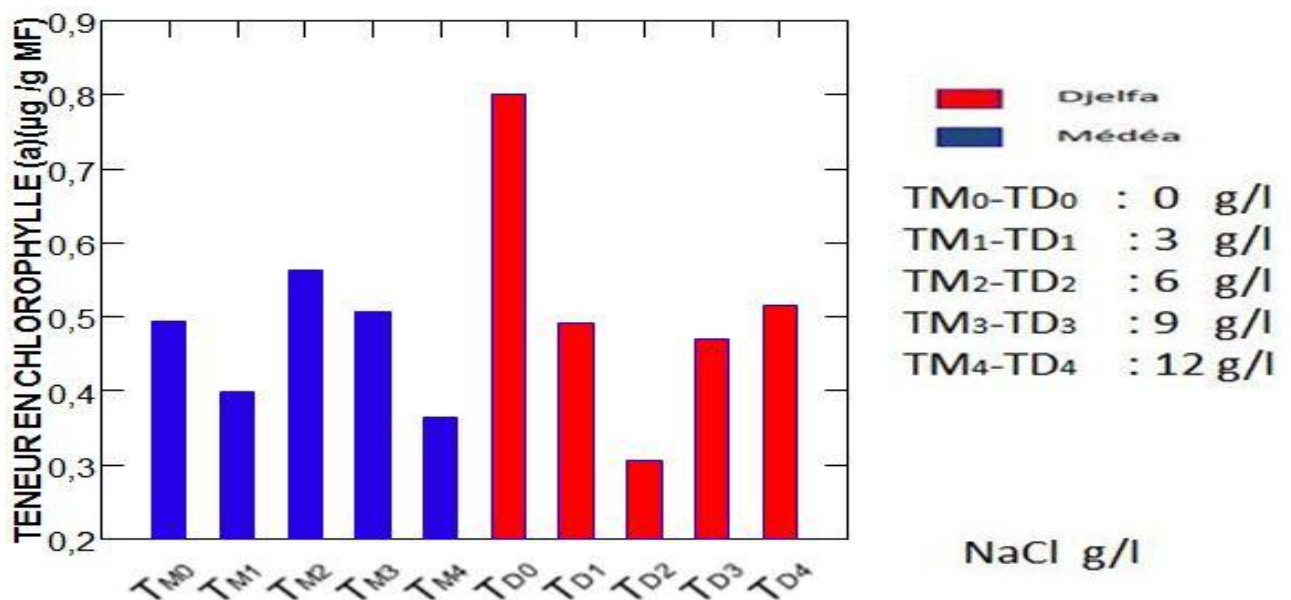


Figure 31 : Teneur en chlorophylles (a) en fonction de l'intensité du stress salin.

Une variabilité est enregistré pour les traitements des graines issue de la région de Médéa avec une valeur supérieure enregistrée sur TM_2 (6g/l). Le stress salin induit de grandes variations de la teneur en chlorophylle (a). L'analyse de la variance à un critère de classification confirme ces résultats et montre qu'il y a une différence significative ($P<0,00$) (Annexe 8).

2-2-2 Chlorophylle (b)

Les moyennes les plus élevées de la teneur en chlorophylle (b) sont enregistrées pour les traitements T_{D0} (0g/l) (Figures 32). La teneur diminue considérablement pour les traitements jusqu'à atteindre une valeur minimal, pour le traitement T_{D4} avec 12 g/l.

Pour les traitements des plantules provenant de la région de Médéa, il existe une variabilité de la teneur en chlorophylle (b) enregistrée.

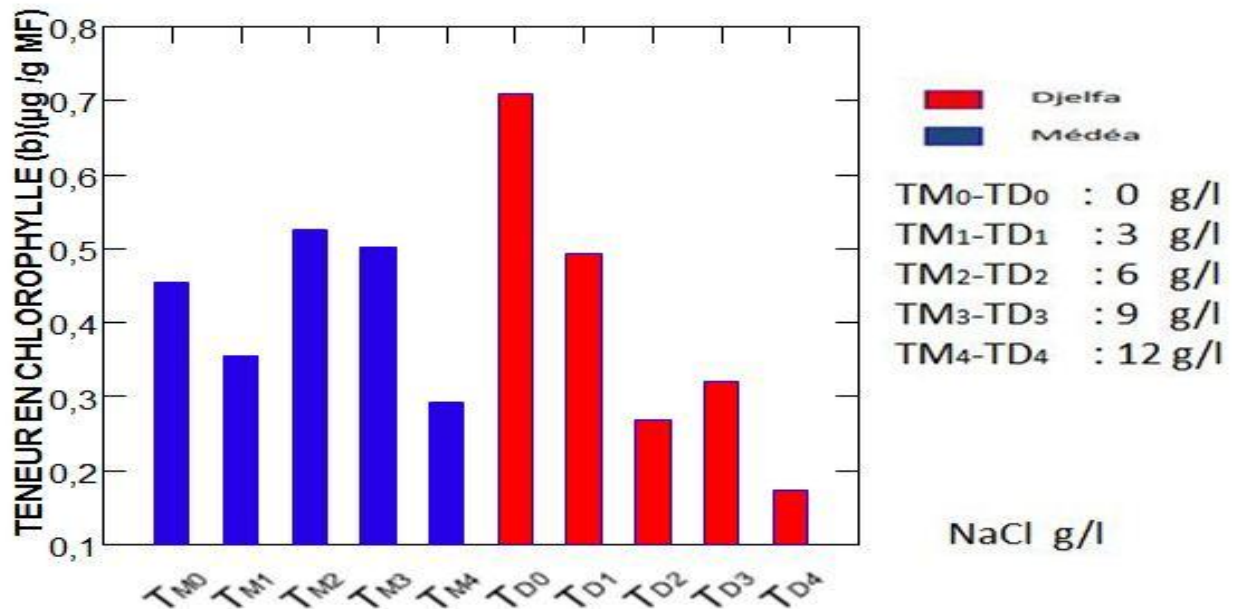


Figure 32 : Teneur en chlorophylles (b) en fonction de l'intensité du stress salin.

Le stress salin induit de grandes variations de la teneur en chlorophylle (b). L'analyse de la variance à un critère de classification confirme ces résultats et montre qu'il y a une différence hautement significative des moyennes ($P < 0,00$) (Annexe 8).

DISCUSSION

Les plantules du *Pistacia atlantica* stressées montrent une capacité de rétention d'eau très appréciable. La valeur de la teneur relative en eau augmente chez les plantules stressées par 6 g/l de NaCl, ce qui semble être un comportement de résistance à la salinité.

La teneur relative en eau diminue progressivement avec l'augmentation de l'intensité du stress.

Le maintien d'une capacité de rétention d'eau élevée chez les plantules de pistachier de l'Atlas stressées est lié à un développement de la partie racinaire et une réduction de la surface d'évaporation.

Ces résultats confirment ceux obtenus par **Kaddour,(2008)** lors de l'application de stress salin chez les plantules du pistachier de l'Atlas. Il note que les concentrations croissantes de NaCl influent d'une manière positive sur l'augmentation de la teneur relative en eau (TRE) après un stress de 3 jours. Lors d'application d'un stress d'une semaine, le même auteur signale que les différentes concentrations en sel ont provoqué une diminution de la teneur relative en eau.

La teneur en chlorophylle diminue dès que l'intensité du stress dépasse 6g/l (T_{D2}). Ce résultat peut s'expliquer par la fermeture des stomates qui permet à la plante de réduire le phénomène d'évapotranspiration d'eau, et limite ainsi l'entrée de CO_2 qui diminue la photosynthèse et a pour conséquence la baisse de la production de biomasse (**Anonyme, 2000**)

La réduction de la teneur en chlorophylle des plantes en conditions de stress a été démontrée chez de nombreuses espèces et dans différentes situations de stress (salin, hydrique, et thermique); notamment chez le tournesol (**El Midaou et al., 2007**) et également chez l'orge (**Cheikh M'hamed et al., 2008**).

3-Effet du stress salin sur les paramètres biochimiques

3-1-Teneur en proline

Le métabolisme des végétaux est perturbé par le stress salin et notamment le métabolisme des acides aminés libres dont la proline constitue un marqueur de la résistance des plantes aux contraintes abiotiques.

L'analyse de la variance à un seul critère de classification montre une différence très hautement significative pour des moyennes ($P < 0,000$) (Annexe 9).

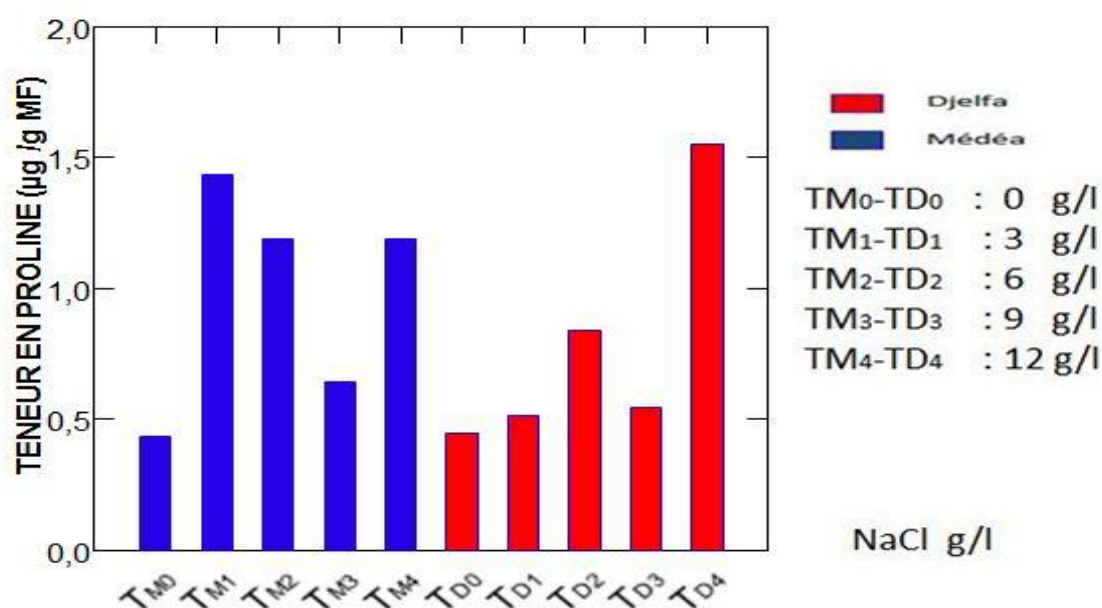


Figure 33 : Teneur en proline en fonction de l'intensité du stress salin.

Chez le *Pistacia atlantica*, l'accumulation de la proline, dans les feuilles des plantules des graines provenant de Djelfa augmente progressivement avec l'intensité du stress salin. La teneur en proline totale s'élève 1.55 µg/gMF pour la concentration de 12 g/l (TD₄) par rapport au témoin 1.18 µg/gMF (Figure 33). La valeur maximale enregistrée chez l'écotype provenant de Médéa est de (1.43 µg/gMF) (TM₁) qui reste supérieure au témoin TM₀ (0.43 µg/gMF) .

3-2-Teneur en sucres solubles

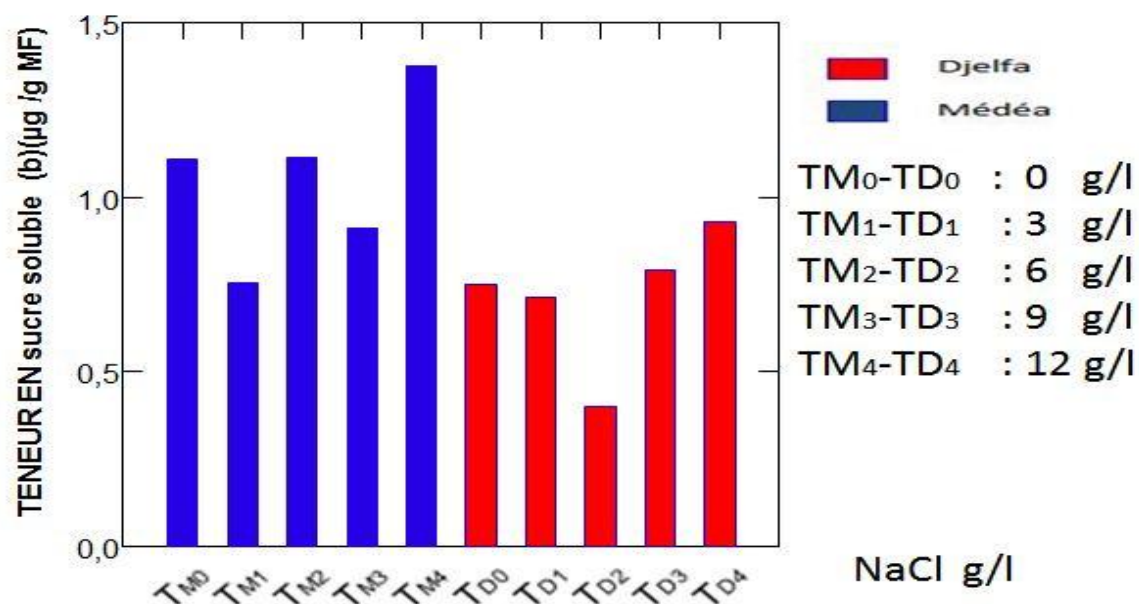


Figure 34 : Teneur en sucres solubles en fonction de l'intensité du stress salin

L'analyse de la variance à un seul critère de classification montre une différence très hautement significative pour des moyennes ($P < 0,000$) (Annexe10).

Chez le *Pistacia atlantica*, l'accumulation des sucres solubles dans les feuilles pour les plantules provenant de l'écotype Djelfa augmente progressivement avec l'intensité du stress salin.

La teneur en sucres totaux de l'écotype de Djelfa s'élève $1.37 \mu\text{g/gMF}$ pour la concentration de TD₄ (12 g/l) par rapport au témoin TD₀ avec une valeur de $1.10 \mu\text{g/gMF}$ (Figure 34). Pour l'écotype de Médéa on constate que le résultat du traitement reste toujours plus élevé que le témoin avec une valeur $0.74 \mu\text{g/gMF}$, sauf pour TM₁, TM₄ d'une valeur de $0.71 \mu\text{g/gMF}$.

DISCUSSION

La réponse biochimique analysée à travers l'accumulation de la proline chez le pistachier de l'Atlas, montre que les plantules accumulent ce composé dans les feuilles selon l'intensité du stress.

A la lumière des résultats obtenus lors de notre expérimentation, des études antérieures avaient montré que les plantules du pistachier de l'Atlas affectées par la salinité ont tendance à accumuler la proline dans les feuilles (**Benhassiani et al., 2012**).

De nombreux travaux rapportent que la proline s'accumule dans la plante lorsqu'elle se trouve en conditions défavorables (**Sivrakrishnan et al., 1988**). La teneur en proline est considérée comme un indicateur rapide et efficace pour détecter la tolérance des plantes à la salinité (**Denden et al., 2005**).

Les travaux de **Clifford et al (1998)**, ont déduit que l'accumulation de proline est la cause d'une forte concentration en sucres solubles. Ces derniers pourraient jouer un rôle de facteurs (**Joyce et al, 1992**).

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

Cette augmentation serait due selon certains auteurs à une modification d'activités enzymatiques liées au métabolisme glucidique. **Udom challothorn et al (2009)**.

Selon **Bensari et al,(1990)**, l'accumulation des sucres solubles contribuerait au maintien d'une pression osmotique élevée limitant les pertes d'eau par transpiration chez le soja. Leur présence effectuerait la synthèse de la proline.

Concernant les résultats d'accumulation des sucres solubles, ils ont été confirmés par les travaux de **Ingam** en 1983 ou l'accumulation de ces composés dans le cytosol pourrait intervenir dans le processus d'ajustement osmotique et aurait un rôle important dans la protection des sucres membranaires lors d'un stress abiotique.

1-Effet du stress hydrique sur les paramètres morphologiques

Le résultat obtenu suit au différent paramètre morphologique étudié durant un période successif de 5, 10,15 jours d'arrêt d'arrosage montre une variation des paramètres étudié.

1-1 Longueur de la tige

Durant une période successive de 5, 10,15 jours d'arrêt d'arrosage la hauteur moyenne des tiges témoins des plantules provenant des deux écotype (Médéa et Djelfa) est supérieure au traitement de la même période (Figure 35).

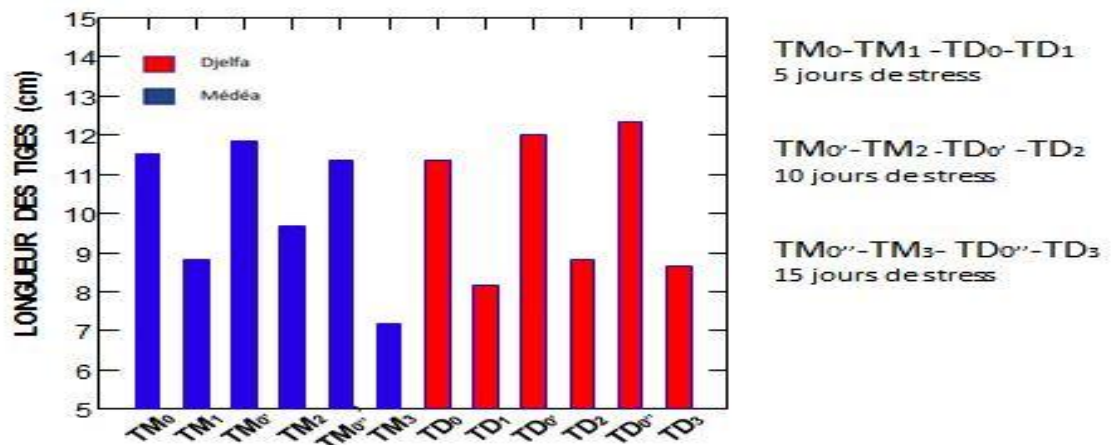


Figure35 : Effet du stress hydrique sur la longueur de la tige (cm).

Ces résultats sont confirmés par l'analyse de la variance à un seul critère de classification qui montre une différence très hautement significative entre les moyennes de la longueur des tiges ($p < 0,000$).

1-2 Longueur de la racine

Durant une période de 5 jours d'arrêt d'arrosage la longueur moyenne des racines TM0 (14.33 cm) est égale à TM1. La longueur moyenne des racines des plantules stressées de 15 jours (TM2) est de 14.66 cm, cette valeur est inférieure à la valeur enregistrée chez les plantules témoins (28.66 cm). La longueur de la racine des plantules stressées pendant 15 jours TD3 (19.33 cm) est inférieure à la longueur de la racine des plantules témoins (TD0') (20.33 cm) (figure 36).

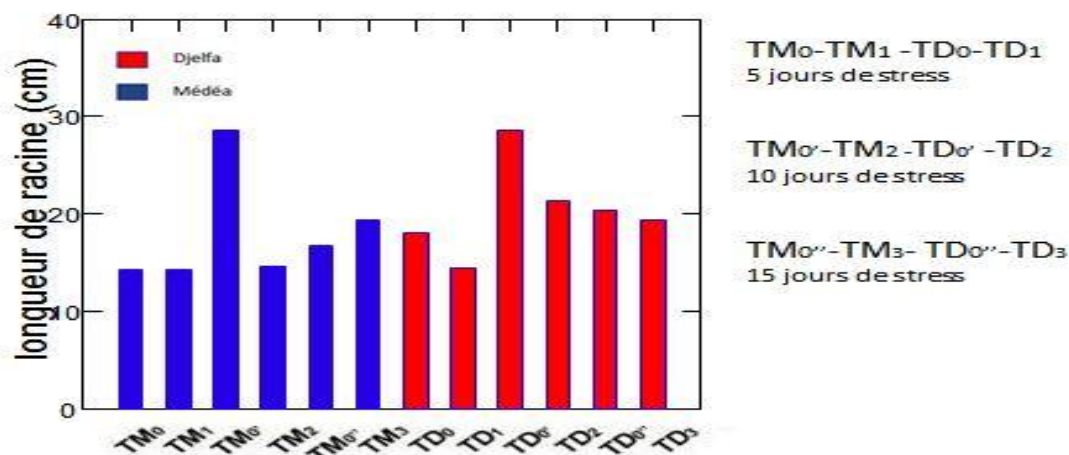


Figure36 : Effet du stress hydrique sur la longueur de racine (cm).

L'analyse de la variance à un critère de classification confirme ces résultats montre une différence significative entre les moyennes de la longueur des racines ($p \leq 0,129$).

1-3 Variation du nombre de feuilles

Durant une période de 15 jours d'arrêt d'arrosage la moyenne du nombre de feuilles des plantules provenant de la région de Djelfa est une constante stable d'une valeur maximale de 7 feuilles, pour ce qui est de la région de Médéa on constate qu'il existe une variation du nombre des feuilles des plantules d'une valeur élevée de 8 feuilles pour le traitement témoin (TM0'') (figure 37).

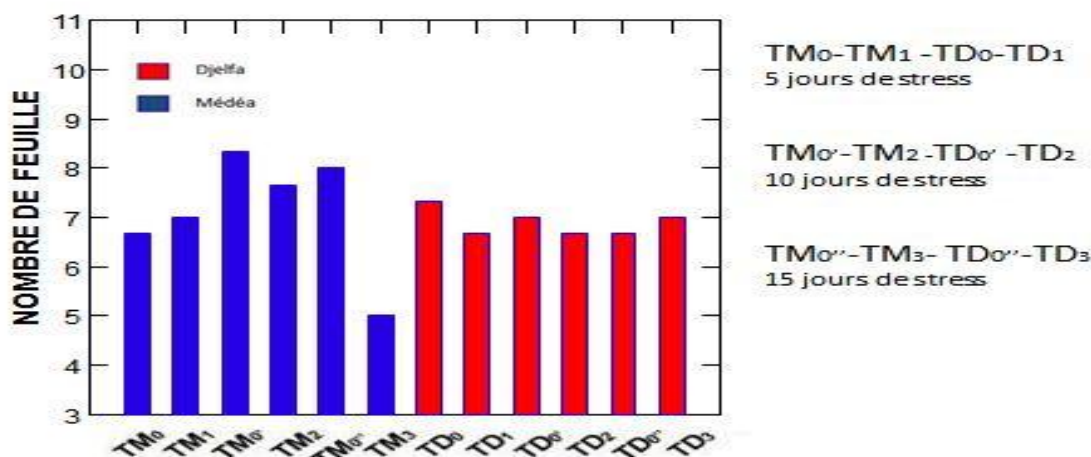


Figure37 : Effet du stress hydrique sur le nombre de feuilles

Les résultats sont confirmés par l'analyse de la variance au seuil de 5%, qui montre qu'il y'a une différence très hautement significative entre les moyennes de la surface foliaire ($p=0.408$).

1-4-Biomasse fraîche de la partie aérienne

Durant une période de 5 jours d'arrêt d'arrosage la moyenne du poids frais de la tige TM_1 (0.12 g) est supérieure à Tm_0 (0.11g). La moyenne du poids frais des tiges des plantules stressées durant une période de 15 jours ($TM_{0''}$) et ($TD_{0''}$) est respectivement de 0.143g, 0.146g, ces valeurs sont supérieures à la valeur enregistrée chez les plantules stressées à 12g/l TM_3 et TD_3 (0.112g ; 0.087g). (figure34).

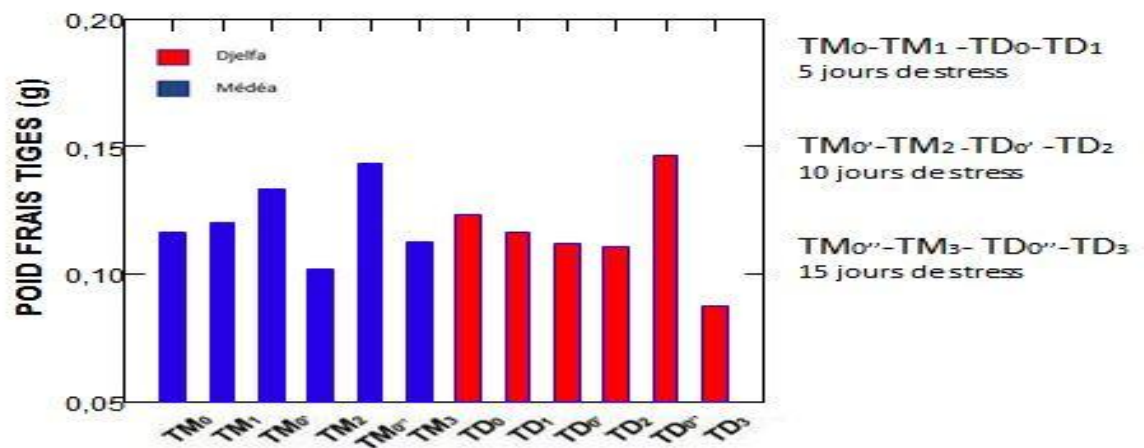


Figure38 : Effet du stress hydrique sur la biomasse fraîche de la partie aérienne

L'analyse de la variance au seuil de 5%, montre qu'il y'a une différence hautement significative entre les moyennes du poids frais des tiges des plantules ($p=0.572$).

1-5 Biomasse fraîche de la partie souterraine

Durant une période de 5 jours d'arrêt d'arrosage la moyenne du poids frais des racines des plantules provenant de deux régions est presque similaire il atteint une valeur supérieure dans TD_{0''} et TM_{0''} avec une valeur respective de 0.36g ,0.30g (figure 35).

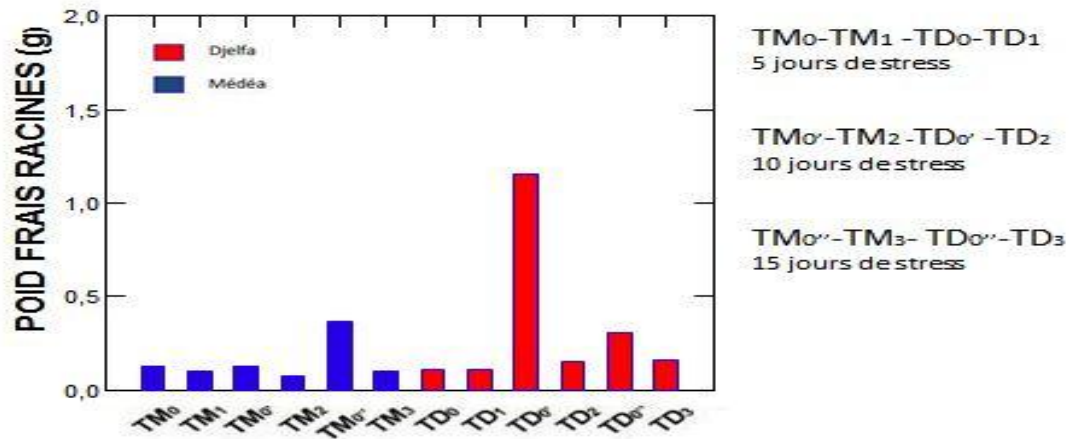


Figure39 : Effet du stress hydrique sur la biomasse fraîche de la partie souterraine

Les résultats sont confirmés par l'analyse de la variance au seuil de 5%, qui montre qu'il y'a une différence très hautement significative entre les moyennes du poids frais des racines ($p=0.000$).

1-6-Biomasse sèche de la partie aérienne

Durant une période de 15 jours d'arrêt d'arrosage la moyenne du poids sec des tiges des plantules témoins des deux régions étudiées reste supérieure au traitement étudié.

On constate qu'au bout de 5 jours de stress hydrique la biomasse sèche de la tige diminue jusqu'à atteindre une valeur de tm₁ et td₁ (0.026g, 0.044 g) en prolongent la durée de stress on observe une diminution du poids de la partie aérienne qui arrive a 0.022,0.027 g (TM₃ ;TD₂)(figure 36).

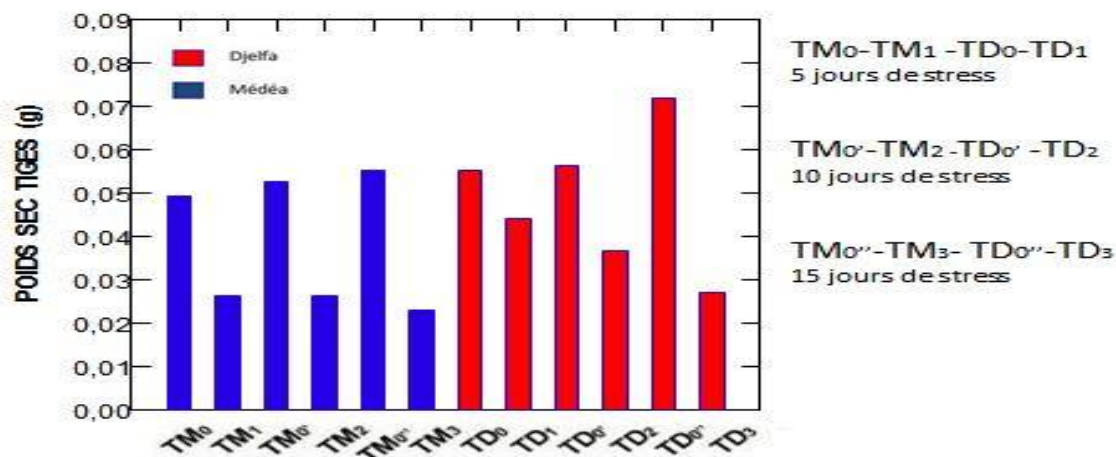


Figure 40 : Effet du stress hydrique sur la biomasse sèche de la partie aérienne

Les résultats sont confirmés par l'analyse de la variance au seuil de 5%, qui montre qu'il y'a une différence très hautement significative entre les moyennes du poids sec des tiges ($p=0.001$).

1-7-Biomasse sèche de la partie souterraine

La figure 41 montre, que les plantules provenant de la région de Médéa après 5 jours d'arrêt d'arrosage la moyenne du poids sec des racines TM_0 (0.015g) est inférieure à TM_1 (0.016g).

La moyenne du poids sec des racines des plantules stressées pendant 15 jours (tm_0'') est de 0.055g, cette valeur est supérieure à la valeur enregistrée chez les plantules TM_3 (0.013g).

Concernant les plantule provenant de la région de Djelfa, on constate que le poids des racine est proportionnel au stress appliqué, qui attend une valeur de (0.072g) pour le témoin qui est supérieur à celle du traitement TD_3 (0.028g) durent une période de 15 jours.

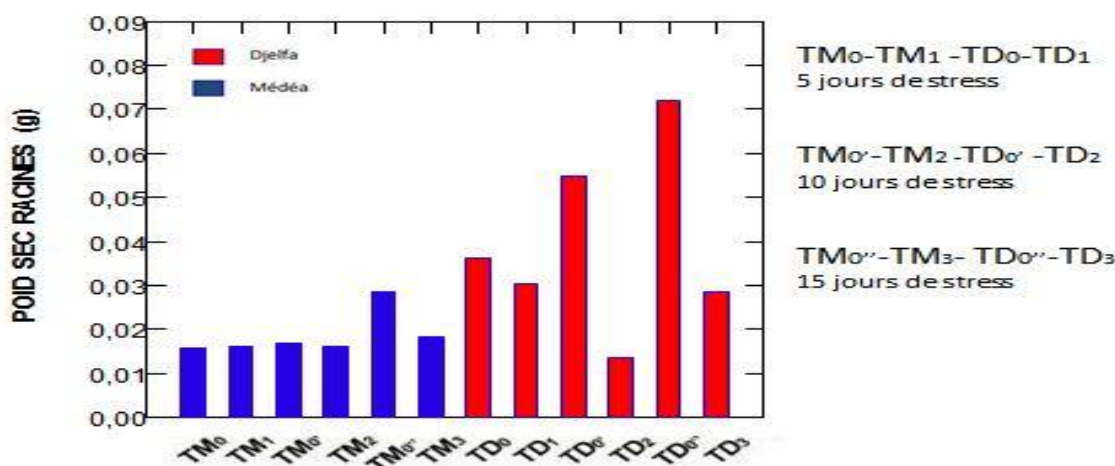


Figure 41 : Effet du stress hydrique sur la biomasse sèche de la partie souterraine

Discussion

La tolérance de l'espèce au stress hydrique a été étudiée à travers leur capacité de développement en conditions stressantes . Pour élucider le comportement morphologique, différents paramètres notamment la longueur de la tige, de la racine, la biomasse fraîche et sèche de la partie aérienne et souterraine ont été évalués.

La diminution de la croissance de la partie aérienne observée chez les plantules de *Pistacia atlantica* Desf. Peut s'expliquer par l'augmentation de la pression osmotique du milieu, ce qui empêche l'absorption de l'eau par le système racinaire et par conséquent entraîne une réduction au niveau de la croissance de l'appareil végétatif.

Harrouni et al.,(1995) ont déduit que la croissance végétative est sévèrement inhibée par le stress hydrique. Les nouvelles feuilles se développent lentement et la sénescence des anciennes s'accélère. Selon **Thakur et RaiThakur, (1986)**, le déficit en eau entraîne un retard dans la croissance végétale. Il se traduit par une réduction de la hauteur et du diamètre de la tige, un raccourcissement des entre-nœuds et une diminution du nombre de feuilles et de la surface foliaire (**Aspinall, 1999**).

La diminution de la croissance racinaire peut s'expliquer par la subérisation des racines soumises au stress hydrique (**Mougou, 1984**). Il est connu que la résistance des végétaux à la sécheresse dépend du degré d'exploitation du sol par le système racinaire. Ainsi **Hubert, in Oppenheimer (1960)** in **Mougou (1984)**, a trouvé des racines d'*Acacia sp* à 30 mètres de profondeur lors du percement du canal de Suez, d'autre part **Evenari, in Oppenheimer,(1960)** in **Mougou, (1984)** a signalé que la superficie est couverte par un seul spécimen de *Retama retame*. En ce qui concerne l'arganier, son système racinaire couvre une surface qui peut atteindre 67 m² en période sécheresse (**Thierry, 1987**).

Pour s'adapter au stress, la plante peut éviter les dommages par la réduction de la croissance [**Yeo, (1983)** ; **Zhu, 2002** in **Lamzeri, 2007**], c'est l'effet le plus commun du stress abiotique sur la morphologie des plantes. La réduction de la croissance est une capacité adaptative nécessaire à la survie d'une plante exposée à un stress abiotique. En effet, ce retard de développement permet à la plante d'accumuler de l'énergie et des ressources pour combattre le stress avant que le déséquilibre entre l'intérieur et l'extérieur de l'organisme n'augmente jusqu'à un seuil où les dommages sont irréversibles. La croissance est inversement corrélée à la résistance au stress salin d'une espèce ou variété [**Zhu, (2001)** in **Bois,(2005)**].

2-Effet du stress hydrique sur les paramètres physiologiques

Durant une période successive de 5, 10,15 jours d'arrêt d'arrosage, Les résultats obtenues suit au diffèrent paramètre physiologiques se traduit comme suivant.

2-1-Teneur Relative en Eau (TRE)

Durant une période de 15jours d'arrêt d'arrosage, la moyenne de la teneur relative en eau (TRE) diminue progressivement durant cette période jusqu'à atteindre une valeur moyenne minimale de 35.52%(TD₃) pour l'écotype de la région de Djelfa et de 25.56%pour le traitement tm₃ (Figure 42).

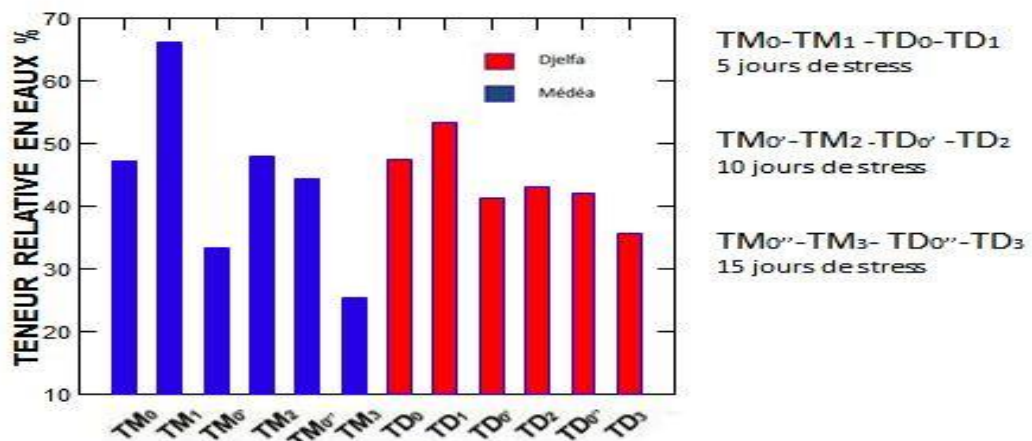


Figure 42 : Effet du stress hydrique sur la teneur relative en eau (TRE)

Les résultats sont confirmés par l'analyse de la variance au seuil de 5%, qui montre qu'il y'a une différence très hautement significative entre les moyennes de la teneur relative en eau ($p=0.001$).

2-2 Teneur en chlorophylles

2-2-1-teneur en chlorophylle (a)

Durant une période de 5jours d'arrêt d'arrosage, la moyenne de la teneur en chlorophylle (a) pour les plantules issue de la région de Médéa TM₀ (0.7μg /g MF) est supérieur à tm₁ (0.69μg /g MF).La moyenne de la teneur en chlorophylle (a) des plantules stressées pendant 15 jours TM_{0''} est de 0.33 μg /g MF, cette valeur est inférieure à la valeur enregistrée chez les plantules TM₃ (0.68 μg /g MF). La moyenne de la teneur en chlorophylle (a) pour la région de Djelfa les plantules stressées pendant 15 jours td₃ (1.11μg /g MF) est supérieure à la moyenne de la teneur en chlorophylle (a) des plantules témoins TD_{0''} (0.89 μg /g MF) (figure 39).

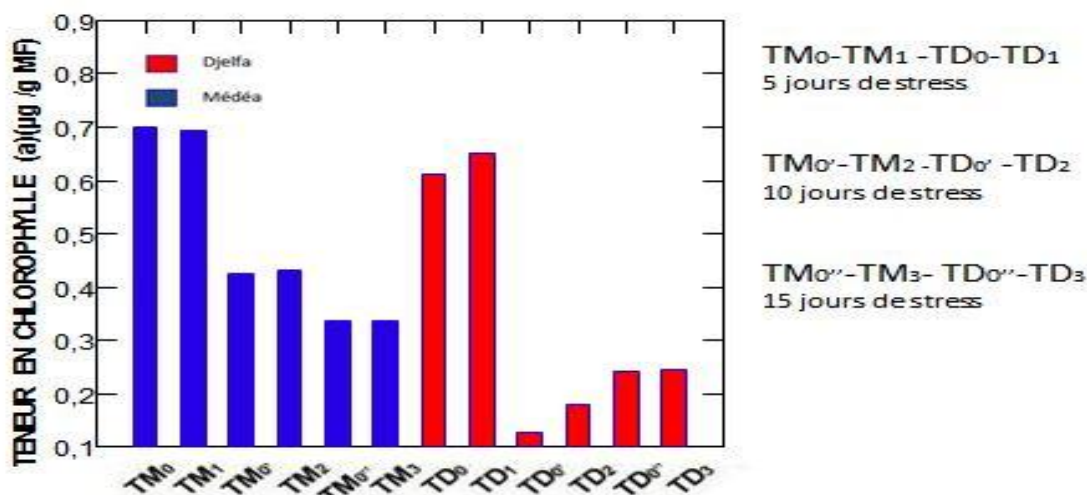


Figure 43 : Effet du stress hydrique sur la teneur en chlorophylle (a)

Les résultats sont confirmés par l'analyse de la variance au seuil de 5%, qui montre qu'il y'a une différence très hautement significative entre les moyennes de la teneur en chlorophylle (a) ($p=0.000$).

2-2-2 Chlorophylle (b)

Durant une période de 5 jours d'arrêt d'arrosage la moyenne de la teneur en chlorophylle (b) pour la région de Médéa TM0 (0.72 µg /g MF) est égale à tm1. La moyenne de la teneur en chlorophylle (b) des plantules stressées 15 jours tm3 est de 1.11 µg /g MF, cette valeur est supérieure à la valeur enregistrée chez les plantules témoins TM0'' (0.68 µg /g MF). La moyenne de la teneur en chlorophylle (b). Les plantules provenant de la région de Djelfa stressées pendant 15 jours TD3 (0.59 µg /g MF) est supérieure à la moyenne de la teneur en chlorophylle (b) des plantules témoins TD0'' (0.51 µg /g MF) (figure 44).

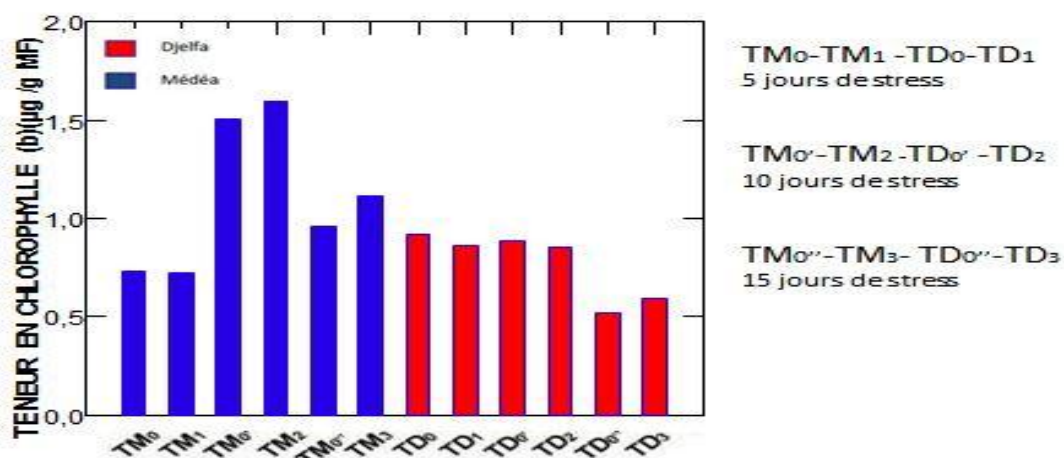


Figure 44 : Effet du stress hydrique sure la teneur en chlorophylle (b)

Les résultats sont confirmés par l'analyse de la variance au seuil de 5% qui montre qu'il y'a une différence très hautement significative entre les moyennes de la teneur en chlorophylle (b) ($p=0.000$).

DISCUSSION

Au cours de notre expérimentation, on constate que la teneur relative en eau des plantules diminue progressivement en fonction de l'augmentation du niveau du stress.

L'analyse de la teneur relative en eau (TRE), nous permet de décrire d'une manière globale le statut hydrique et d'évaluer l'aptitude des plantules à réaliser une bonne osmorégulation et maintenir une turgescence cellulaire (**El Jaafari, 1993**).

Le manque d'eau est un élément déterminant pour la croissance des plantes, particulièrement en régions arides et semi arides. Il induit chez les plantes stressées une diminution du contenu relatif en eau (**Albouchi et al., 2003**).

L'augmentation des teneurs en chlorophylles totales est la conséquence de la réduction de la taille des cellules foliaires sous l'effet d'un stress hydrique qui engendre une plus grande concentration (**Siakhene, 1984**).

Par contre, la chute des teneurs en chlorophylles est la conséquence de la réduction de l'ouverture des stomates visant à limiter les pertes en eau par évapotranspiration et par augmentation de la résistance à l'entrée du CO₂ atmosphérique nécessaire à la photosynthèse (**Bousba et al., 2009**). La quantité de la chlorophylle des feuilles peut être influencée par beaucoup de facteurs tels que l'âge des feuilles, la position des feuilles, et les facteurs environnementaux tels que la lumière, la température et la disponibilité en eau (**Hikosaka et al., 2006**).

3-Effet du stress hydrique sur les paramètres biochimiques

Durant une période successive de 5, 10,15 jours d'arrêt d'arrosage, Les résultats obtenues suit au diffèrent paramètre biochimiques se traduit comme suivant.

3-1-Teneur en proline

Durant une période de 15 jours d'arrêt d'arrosage la moyenne de la teneur en proline a été enregistré au niveau des traitements qui a une valeur la plus élevé qui est progressive en fonction de la période de sécheresse pour l'écotype Médéa TM_0 (0.27 $\mu\text{g/g MF}$) est inférieur à tm_i (0.89 $\mu\text{g/g MF}$). La moyenne de la teneur en proline des plantules stressées de 15 jours TM_3 est de 1.82 $\mu\text{g/g MF}$, cette valeur est supérieur à la valeur enregistrée chez les plantules témoins $TM_{0''}$ (0.28 $\mu\text{g/g MF}$) (Figure 45).

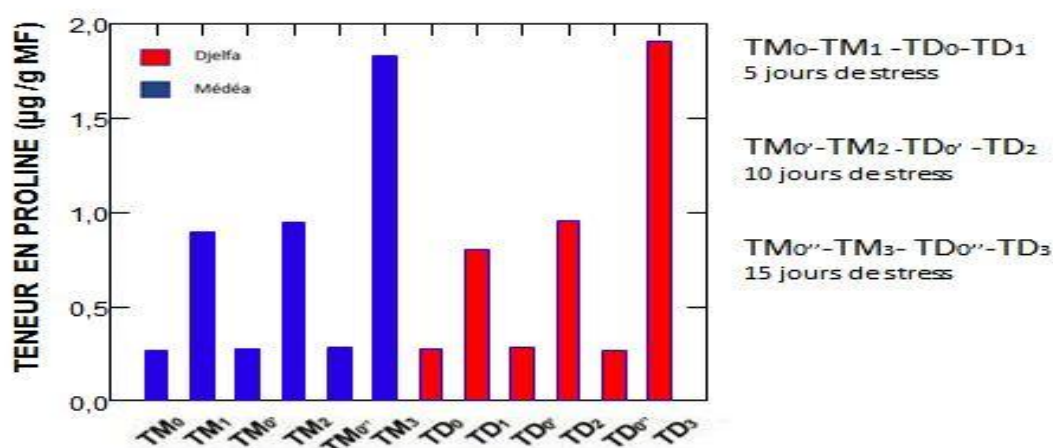


Figure 45 : Effet du stress hydrique sur la teneur en proline

Les résultats sont confirmés par l'analyse de la variance au seuil de 5%, qui montre qu'il y'a une différence très hautement significative entre les moyennes de la teneur en proline ($p=0.000$).

3-2 Teneur en sucres solubles

Durant une période de 5 jours d'arrêt d'arrosage la moyenne de la teneur en sucre soluble pour les plantules (Médéa) TM_0 (0.48 $\mu\text{g/g MF}$), elle est similaire au traitement TM_1 . La moyenne de la teneur en sucre des plantules stressées. 15 jours tm_3 est de 1.50 $\mu\text{g/g MF}$, cette valeur est inférieur à la valeur enregistrée chez les plantules témoins $TM_{0''}$ (1.66 $\mu\text{g/g MF}$). La moyenne de la teneur en sucre pour l'écotype de Djelfa les plantules stressées pendant 15 jours TD_3 (1.40 $\mu\text{g/g MF}$).

MF) est supérieur à la moyenne de la teneur des plantules témoins TD₀'' (0.92 µg /g MF) (figure 46).

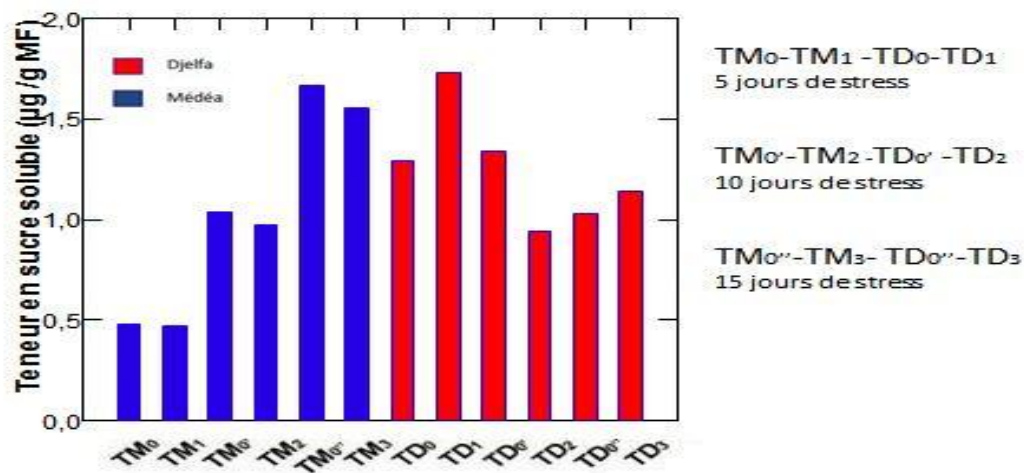


Figure 46 : Teneur en sucres solubles en fonction de l'intensité du stress hydrique

Les résultats sont confirmés par l'analyse de la variance au seuil de 5%, qui montre qu'il y'a une différence très hautement significative entre les moyennes de la teneur en sucres solubles ($p=0.000$).

Discussion

Au cours de notre expérimentation on constate que la teneur en proline augmente progressivement en fonction de l'augmentation du niveau du stress.

Les résultats de **Tahri et al., (1997)** révèlent une certaine proportionnalité, mais inversement, entre les teneurs en proline accumulées et les teneurs en pigments chlorophylliens perdues. Ainsi la variété qui accumule plus de proline est aussi celle qui connaît la plus forte diminution de ses teneurs en pigments chlorophylliens et inversement (**Tahri et al., 1997**).

Plusieurs auteurs montrent que l'augmentation de la teneur en proline est reliée directement à l'application du stress hydrique (**Cechin et al., 2006**). L'accumulation de la proline a été démontrée chez de nombreuses espèces et dans différentes situations de stress (osmotique, hydrique, thermique) (**Blum, 1996**). Plus le niveau de stress appliqué augmente plus les teneurs en proline deviennent plus marquées (**Savoure et al., 1995**).

Il apparaît que la proline peut conférer la tolérance des plantes aux stress par le développement d'un système antioxydant qui peut jouer un rôle d'indicateur d'ajustement osmotique (**Ellane et al., 2007**).

Les résultats d'accumulation de la proline permettent de conclure que le stress hydrique modifie la composition biochimique des organes. L'accumulation de cet acide aminé est l'une des manifestations les plus remarquables du stress hydrique. Son rôle comme osmoticiens a été rapporté par plusieurs auteurs (**Stewart., 1974**, et **Kramer., 1983**).

Selon **Bensari et al** en 1990, l'accumulation des sucres solubles contribuerait au maintien d'une pression osmotique élevée limitant les pertes d'eau par transpiration chez le soja. Leur présence effectuerait la synthèse de la proline (**Joyc, 1992**).

Les résultats d'accumulation des sucres solubles ont été confirmés par les travaux de **Ingam** (1983) dont l'accumulation de ces composés dans le cytosol pourrait intervenir dans le processus d'ajustement osmotique et aurait un rôle important dans la protection des sucres membranaire lors d'un stress abiotique.

Ainsi, les types des sucres tels que le saccharose, le fructose et particulièrement le glucose semblent jouer un rôle dans le maintien d'une pression de turgescence, sachant que le glucose provient de la dégradation des réserves d'amidon (**Hare et al, 1998**).

CONCLUSION

Au terme de cette étude, nous pouvons conclure que les stress abiotiques constituent un facteur limitant de croissance et de tolérance des plantules de *Pistacia atlantica* Desf.

Ceci est reflété par les changements physiologiques, biochimiques et morphologiques qui se sont produits lors de l'expérimentation.

Les stress abiotiques salin et hydrique causent des problèmes importants dans les zones arides et semi-arides, en affectant sérieusement la croissance et le développement des plantes.

Pour cela, nous avons déterminé de façon préliminaire les principales caractéristiques du développement des plantules stressées du pistachier de l'Atlas (hydrique et salin).

L'effet de la salinité chez *Pistacia atlantica* Desf peut se traduire par des modifications morphologiques, biochimiques et physiologiques pour augmenter l'absorption d'eau et/ou pour diminuer la transpiration et la compétition entre les organes.

La concentration de 3g/l de sel provoque une stimulation de la croissance chez les plantules du pistachier de l'Atlas avec des valeurs similaires aux témoins et parfois supérieures, ce qui reflète la caractéristique halophyte de l'espèce.

Une baisse de la croissance est observée dès que la concentration en sel dépasse 6g/l, ceci nous permet de constater que l'espèce résiste jusqu'à la concentration de 9g/l. Au-delà de celle-ci le sel devient de plus en plus nocif jusqu'à atteindre la toxicité chez les plantules traitées avec 12g/l de NaCl où des nécroses et des dessèchements sont constatés au niveau des feuilles.

La réponse biochimique évaluée à travers l'accumulation de la proline et sucres solubles a confirmé les résultats concernant la réponse morphologique de cette espèce vis-à-vis de la salinité et a mis en évidence le caractère halophyte de l'espèce qui exprime sa capacité de synthétiser et accumuler la proline, une diminution est constatée pour le taux de proline des plantules stressées pendant 15 jours, cela implique une régulation des paramètres biochimiques des plantules de pistachier d'atlas stressé.

Le pistachier de l'Atlas a montré une grande résistance au déficit hydrique manifestée par le développement d'un appareil aérien et racinaire moins importants.

Une stimulation de la croissance des plantules stressées pendant 5 jours est observée avec des valeurs similaires aux témoins et parfois supérieures, après 15 jours de stress hydrique.

En effet une baisse de la croissance est observée en termes de stratégies d'adaptation conditionnée à la contrainte hydrique telle que la diminution de la longueur des tiges et racines.

La teneur en proline a été significativement accumulée en fonction du stress hydrique, elle a mis en évidence le caractère halophyte de l'espèce qui exprime sa capacité de synthétiser et accumuler la proline.

Ces résultats ne sont pas définitifs, des travaux devraient être poursuivis ultérieurement pour les confirmer et pour approfondir la compréhension des mécanismes mis en place par l'espèce vis-à-vis des stress abiotiques.

Perspectives

Dans le cadre d'un travail futur, il serait souhaitable de fragmenter les doses de NaCl et la période de stress, pour déceler plus des symptômes de dépérissement notamment le dessèchement des plantules prolonger l'arrêt d'arrosage afin de déterminer sa capacité à résister en régions arides et semi arides.

Il est intéressant de prospecter les possibilités de sélection de certaines populations pour une meilleure adaptation au stress salin et hydrique. Il serait aussi intéressant d'utiliser des techniques basées sur la description du comportement, l'analyse génétique des caractères et la recherche des marqueurs moléculaires pour une amélioration de la tolérance au stress abiotique.