

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

Université Saad D'Ahlab Blida
Faculté des Sciences Biologiques et Vétérinaires
Département d'Agronomie



MEMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de master en biotechnologie végétale
Option : **Biotechnologie végétale**

Thème :

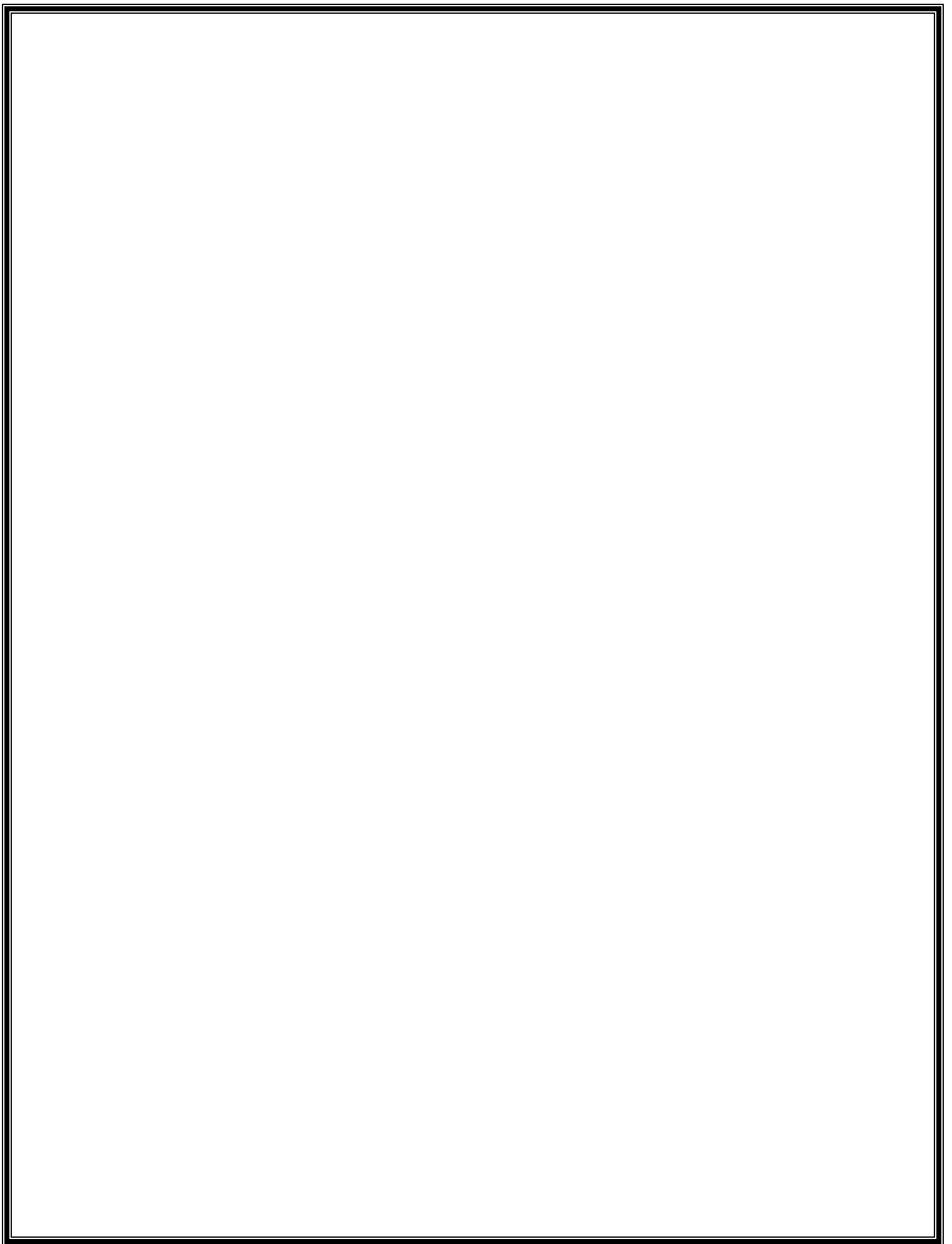
**Effet de stress hydrique sur la germination, la croissance et
le développement du
pistachier de l'Atlas : *Pistacia atlantica* Desf.**

Présenté par: M^{elle} DELLAL Rekia

Devant le jury :

| | | | |
|-------------------------|-----------------------------|-------------|----------------------|
| BENREBIHA F/Z | Professeur | USDB | Présidente |
| CHAOUIA C. | MCA | USDB | Promotrice |
| OUKARA F/Z | Attaché de recherche | INRF | Co-promotrice |
| BOUTAHRAOUI S.A. | MCA | USDB | Examineur |

2012/2013



RESUME

Le choix d'une espèce tolérante au stress abiotique est un moyen efficace pour pallier au problème du déficit hydrique.

L'étude du comportement morpho-physiologique et biochimique de plantules du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf) en conditions difficiles (stress hydrique) nous a révélé que selon la provenance des graines (Messad et Aïn Oussara) les plantules réagissaient différemment.

En effet, au stade germinatif, les graines issues des deux provenances (Messad et Aïn Oussara), présentent une différence au niveau du taux de germination avec respectivement 53% et 91%.

Le traitement (T₁) présente un taux de germination élevé pour les deux provenances. Ce taux est de 98% et 81% respectivement pour la provenance Aïn Oussara et de Messad. Il est important aussi avec le témoin d'Aïn Oussara (91%). Dès que la concentration dépasse 15 g/l de PEG, ce taux diminue considérablement à la concentration 30 g/l de PEG, le taux de germination est de 74% et 35% respectivement pour la provenance Aïn Oussara et Messad.

A partir de 45 jours, les plantules ont été irriguées par l'eau de robinet additionnée de 5, 10, 15, 20, 25 et 30 g/l de PEG durant 30 jours alors que les plantules témoins recevaient l'eau sans PEG. La concentration de 15 g/l de PEG a donné les résultats satisfaisants sur la croissance et le développement des plantules du Pistachier avec une longueur de la tige atteignant 8.33 cm.

Le pistachier de l'Atlas a montré une grande résistance à la sécheresse manifestée par le développement d'un appareil aérienne et racinaire important avec respectivement 8.33 cm et 12.66 cm à la concentration de 15g/l.

L'étude de la croissance des plantules a été complétée par le dosage de la chlorophylle ; ce paramètre reflète l'activité photosynthétique avec des taux de chlorophylles (a), (b) et (c) respectivement 2,68 ; 3 et 142,4 µg/g MF pour le traitement (T₆ : 30g/l) comparés aux valeurs enregistrées pour T₃ (15g/l) 3,77 ; 11,13 ; 329,99 µg/g MF.

L'accumulation des osmorégulateurs, en l'occurrence la proline a augmentée en fonction de stress hydrique elle est de 0,831 µg/g MF à 30g/l à comparé au témoin 0,147g/l.

Mots clés : *Pistacia atlantica*, Sécheresse, Stress abiotique, Chlorophylles, Proline.

ABSTRACT

The choice of species tolerant to abiotic stress is an effective way to overcome the problem of water shortage.

The study of the morpho- physiological and biochemical behavior of seedlings of Atlas pistachio (*Pistacia atlantica* Desf) in difficult conditions (water stress) has revealed that according to the source of seeds (Messad and Ain Oussara) seedlings responded differently .

Indeed, germinal stage, the seeds from the two sources (Messad and Ain Oussara) have a difference in the germination rate of 53 % and 91% respectively.

Treatment (T1) has a higher rate of germination for both sources. This rate is 98 % and 81% respectively from the Ain Oussara and Messad. It is also important with the Ain Oussara control (91%). When the concentration exceeds 15 g / l of PEG, this rate decreases significantly the concentration 30 g / l of PEG, the germination rate is 74 % and 35% respectively from the Ain Oussara and Messad.

From 45 days, the seedlings were irrigated with tap water added 5, 10, 15, 20, 25 and 30 g / l of PEG for 30 days, where as control plants received water without PEG. The concentration of 15 g / l PEG gave satisfactory results on the growth and development of seedlings of pistachio with a length of the stem up to 8.33 cm.

The pistachio Atlas showed a high resistance to drought manifested by the development of a large root and shoot camera with respectively 8.33 cm and 12.66 cm at a concentration of 15g/l.

The study of plant growth was complemented by the determination of chlorophylls (a) , (b) and (c) , this parameter reflects the photosynthetic activity with rates of chlorophyll (a) , (b) and (c) with 2,68, 3 et 142,4 µg/g MF to T6 (30g / l). Comparable with T3 (15g/l) 3,77 ; 11,13 ; 329,99 µg/g MF respectively.

The accumulation of osmo, namely the proline increased as a function of water stress, it is 0.831 mg / g MF to 30g / l comparable with control, it is a 0,147g/l.

Keywords : *Pistacia atlantica*, Drought, Abiotic Stress, Chlorophyll, Proline

ملخص

إن اختيار نوعية النبات الذي يطبق الإجهاد غير الحيوي هو طريقة فعالة لمواجهة مشكل النقص المائي.

إن دراسة التشكل الفزيولوجي و البيوكيميائي لشتلة شجرة الفستق الأطلسي في ظروف صعبة (الإجهاد المائي) بين لنا انه حسب مصدر البذور (مسعد و عين وسارة) فان رد فعل الشتلات مختلف. و بالفعل فانه في المرحلة النباتية البذور الناجمة من مصدرين (مسعد و عين وسارة) تتضمنان اختلافا في نسبة الإنبات يقدر على التوالي ب53% و 91% بالنسبة للشتلة العادية.

المعالجة (T₁) تحمل نسبة إنبات عالي للمصدرين. هذه النسبة تقدر ب 98% و 81% على التوالي بالنسبة لمصدر عين وسارة و مسعد. عندما يفوق التركيز 15 غ/ل من PEG, تنخفض هذه النسبة كثيرا, و عند التركيز 30 غ/ل من PEG تكون نسبة الإنبات 74% و 35% على التوالي لمصدر عين وسارة و مسعد. ابتداء من 45% يوم, تم سقي الشتلات بماء الصنوبر أضيف إليها 5, 10, 15, 20, 25, 30 غ/ل من PEG خلال 30 يوما. إن الشتلات العادية كانت تسقى بالماء بدون PEG. إن تركيز 15 غ/ل من (PEG) أعطى نتائج مرضية فيما يخص نمو و تطور شتلات شجر الفستق مع طول جذع يصل إلى 8.33 سم.

اظهر الفستق الأطلسي صمودا كبيرا للجفاف تجلى في تطور كبير للسيقان و الجذور مع 8.33 سم و 12.66 سم على التوالي عند تركيز 15 غ/ل.

تمت تكملة دراسة نمو النباتات بمعايرة الكلوروفيل (ل), (ب), (ج), و هذا المعلم يبين أن النشاط الضوئي مع نسب الكلوروفيل

(ل), (ب), (ج), على التوالي 142.4, 3, 2.68 $\mu\text{g/g}$ MF ب 30 غ/ل مقارنة بالنسب المسجلة ب 15 غ/ل

التي كانت على التوالي 392.99, 11.13, 3.99 $\mu\text{g/g}$ MF

إن تجمع البرولين زاد حسب الجفاف, و هي تقدر ب 0.83 $\mu\text{g/g}$ MF في 30 غ/ل مقارنة بالشتلات العادية و تقدر

ب 0.147 $\mu\text{g/g}$ MF.

الكلمات المهمة: الفستق الأطلسي, الجفاف, الإجهاد غير الحيوي, الكلوروفيل, البرولين

INTRODUCTION

L'eau est une source nécessaire à la plante comme à tout être vivant. En Algérie, le déficit en eau est l'un des principaux facteurs limitant la production agricole.

L'eau a des rôles essentiels et multiples dans la germination et la croissance des plantes. A l'échelle cellulaire, elle participe au maintien des structures et permet le déroulement du métabolisme, par la pression de la turgescence qu'elle exerce sur les membranes.

L'eau contribue au port des végétaux, qui sans elle se flétrissent, elle commande divers mouvements d'organes (tiges, feuilles et fleurs) et de cellules (stomates) en participant à l'allongement cellulaire.

Au niveau de l'organisme, elle sert de véhicule aux substances nutritives, déchets et hormones qui supportent de grandes sécheresses (**HELLER, 1989**).

Le moindre déficit dans l'apport d'eau à la plante entraîne le flétrissement des feuilles et la fermeture des stomates, provoquant des perturbations au niveau de la photosynthèse, une chute de la production de la matière sèche, ainsi qu'une réduction de la croissance et du rendement et parfois même la mort de la plante, si le stress est sévère.

Ainsi, plusieurs auteurs se sont intéressés aux effets d'un stress hydrique sur la production végétal comme conséquence des perturbations de grandes fonctions physiologiques et métabolique (**PASSIOURA, 1982**), telles que la photosynthèse et la respiration (**BOYER, 1970**).

Face à ces problèmes l'introduction d'arbre ou d'arbuste fourragère tolérants au manque d'eau est l'une des techniques utilisées possible pour la valorisation des ces sols marginaux, parmi ces espèces on peut citer le pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) appelé le Bétoum.

Il a un rôle économique certain du fait de la richesse de ses graines en huile et joue aussi un rôle dans l'équilibre écologique. Ses feuilles ont une vocation fourragère et leurs valeurs nutritives sont estimées à 0,35 U.F.

C'est l'arbre par excellence des régions méditerranéennes et tempérées. Il est le seul représentant de la strate arborescente des dayas, formant des associations avec *Zizyphus lotus* Desf.

MONJAUZE, (1968) signale que de part son système racinaire important, l'arbre du pistachier est considéré comme le plus puissant après le cèdre. Il se présente à l'état de groupements isolés et se rencontre surtout sur l'Atlas saharien, dans le secteur du Sahara septentrionale et dans le Hoggar.

Le Bétoum est d'une grande importance, il est utilisé comme porte greffe de *Pistacia vera* (**BRICHET, 1931**).

Dans ce contexte s'inscrit notre travail de recherche dont l'objectif est de contribuer à l'étude d'une contrainte hydrique provoqué par le PEG sur la germination et les premiers stades de la croissance et du développement des plantules.

Notre mémoire se présente en quatre chapitres :

- Une synthèse bibliographique sur le Pistachier de l'Atlas et les aspects du stress hydrique.
- Le chapitre II présente le stress hydrique et les mécanismes morpho-physiologiques, biochimiques de la tolérance des plantules au stress hydrique.
- Dans le chapitre III, nous traiterons successivement la description du matériel végétal, des conditions de culture et les méthodes d'analyses utilisées lors de notre expérimentation.
- Le chapitre IV fait l'objet de la présentation des résultats obtenus, interprétations et une discussion.
- Le mémoire est achevé par une conclusion générale et des perspectives.

| | |
|---|----------|
| REMERCIEMENTS | |
| RESUME | |
| TABLE DES MATIERES | |
| LISTE DES TABLEAUX | |
| LISTE DES FIGURES | |
| LISTE DES ABREVIATIONS | |
| INTRODUCTION | 1 |
| CHAPITRE 1: PRESENTATION DU PISTACHIER DE L'ATLAS | |
| 1- HISTORIQUE ET ORIGINE DU PISTACHIER DE L'ATLAS..... | 3 |
| 2- REPARTITION GEOGRAPHIQUE DU PISTACHIER DE L'ATLAS..... | 4 |
| 2-1- Dans le monde..... | 4 |
| 2-2- En Algérie..... | 5 |
| 3- Systématique | 6 |
| 4- Description de la plante | 7 |
| 4-1- Feuilles | 7 |
| 4-2- Inflorescence | 9 |
| 4-2-1- Fleur mâle..... | 9 |
| 4-2-2- Fleur femelle | 10 |
| 4-3- Fruit..... | 11 |
| 4-4- Graines..... | 12 |
| 4-5- Système racinaire..... | 12 |
| 5- Régénération..... | 13 |
| 6- Caractéristiques écologiques et édaphiques de l'espèce | 13 |
| 6-1- Exigence écologique | 14 |
| 6-1-1- Climat..... | 14 |
| 6-2- Exigences édaphiques..... | 15 |

| | |
|--|----|
| 7- Multiplication de l'espèce..... | 16 |
| 8- Intérêts de l'espèce..... | 17 |
| 8-1- Intérêts écologiques..... | 17 |
| 8-2-Intérêts socio-économiques..... | 17 |
| 9- Facteurs ayant contribué à la dégradation du pistachier de l'Atlas..... | 18 |

CHAPITRE 2: STRESS HYDRIQUE

| | |
|---|----|
| 1- Phénomène de sécheresse..... | 20 |
| 2- Notion de stress..... | 20 |
| 2-1- Stress hydrique..... | 21 |
| 3- les plantes et le stress hydrique..... | 21 |
| 4- Effet du stress hydrique sur le développement des plantes..... | 22 |
| 4-1- Eau/ Plante..... | 22 |
| 4-2- Eau dans le sol..... | 23 |
| 5- Mécanismes d'adaptation à la sécheresse..... | 23 |
| 5-1- Adaptations morphologiques..... | 24 |
| 5-1-1- Système racinaire..... | 24 |
| 5-1-2- Surface foliaire..... | 24 |
| 5-1-3- Réduction du nombre de feuilles..... | 25 |
| 5-2-Adaptations physiologiques..... | 25 |
| 5-2-1- Régulation stomatique..... | 25 |
| 5-2-2- Potentiel hydrique et ajustement osmotique..... | 26 |
| 5-2-3- Accumulation de la proline sous stress..... | 26 |
| 5-2-4- Accumulation des sucres solubles sous stress..... | 27 |
| 5-2-5- Les pigments photosynthétiques..... | 28 |
| . Les chlorophylles..... | 28 |
| 5-2-6- Statut hydrique de la plante..... | 28 |
| . Teneur relative en eau..... | 28 |

CHAPITRE 3: MATERIEL ET METHODES

| | |
|---|----|
| 1-Objectif de travail..... | 29 |
| 2-Site d'expérimentation..... | 29 |
| 3-Matériel végétal et conditions de culture | 29 |
| 4- Préparation des grains..... | 29 |
| 5- test de germination..... | 30 |
| 6-Etude du stress hydrique sur les plantules | 31 |
| 7- Les données du sol..... | 32 |
| 8- PEG polyéthylène glycol..... | 33 |
| 9-Dispositif expérimental..... | 33 |
| 9-1- Stress au stade germinatif | 33 |
| 9-2- Stress au stade plantules..... | 34 |
| 10- Paramètres étudiés..... | 35 |
| 10-1-Taux de germination..... | 35 |
| 10-2-Paramètres morphologiques au stade plantule..... | 35 |
| 10-2-1-Croissance en longueur..... | 35 |
| 10-2-2-Croissance pondérale..... | 35 |
| 10-2-3- Surface foliaire..... | 35 |
| 10-3-Paramètres physiologiques..... | 35 |
| 10-3-1-Teneur relative en eau..... | 35 |
| 10-3-2-Dosage de chlorophylle..... | 36 |
| 10-4-Paramètres biochimiques..... | 36 |
| 10-4-1-Dosage de la teneur en proline..... | 36 |

CHAPITRE 4: RESULTATS ET DISCUSSION

| | |
|--|-----------|
| 1- Effet du PEG sur le taux de germination..... | 38 |
| Discussion..... | 39 |
| 2- L'effet de stress hydrique sur les plantules..... | 40 |
| 3- Paramètres morphologiques de la partie aérienne et souterraine et surface foliaire..... | 41 |
| 3-1- Longueur de tige..... | 42 |
| 3-2- Longueur de racine..... | 42 |
| 3-3- Rapport longueur de racine/tige..... | 43 |
| 3-4- Poids sec de tige..... | 44 |
| 3-5- Poids sec de racine..... | 44 |
| 3-6- Rapport poids sec de racine/tige..... | 45 |
| 3-7- Surface foliaire..... | 46 |
| Discussion..... | 46 |
| 4- Paramètres physiologiques..... | 49 |
| 4-1- Teneur Relative en Eau (TRE) ou Relative Water Content (RWC)..... | 49 |
| Discussion..... | 49 |
| 4-2- Teneur en chlorophylle..... | 50 |
| 4-2-1- Teneur en chlorophylle (a)..... | 50 |
| 4-2-2- Teneur en chlorophylle (b)..... | 51 |
| 4-2-3- Teneur en chlorophylle (c)..... | 52 |
| Discussion..... | 52 |
| 5- Paramètres biochimique..... | 53 |
| 5-1- Teneur en proline..... | 53 |
| Discussion..... | 54 |
| CONCLUSION GENERALE..... | 55 |
| PERSPECTIVES..... | 56 |
| REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES..... | 57 |
| ANNEXES..... | 65 |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|---|----|
| Tableau 1 : Analyse chimique du sol de la station expérimentale..... | 32 |
| Tableau 2 : Composition physique du sol..... | 32 |

LISTES DES FIGURES

| | |
|--|----|
| Figure 1 : Aire de répartition du pistachier de l'Atlas (<i>Pistacia atlantica</i> Desf) en région méditerranéenne QUEZEL et MEDIAL, (2003)..... | 4 |
| Figure 2 : Répartition du pistachier de l'Atlas en Algérie et en Tunisie (MONJAUZE, 1968)..... | 6 |
| Figure 3 : Peuplement de pistachier de l'Atlas (Région de Aïn Oussara)..... | 8 |
| Figure 4 : Feuilles composées de <i>Pistacia atlantica</i> Desf..... | 8 |
| Figure 5 : Fleurs mâles du pistachier de l'Atlas (YAAQOBI et al., 2009)..... | 10 |
| Figure 6 : Fleurs femelles du pistachier de l'Atlas (YAAQOBI et al., 2009) | 11 |
| Figure 7 : Fruits du pistachier de l'Atlas (YAAQOBI et al., 2009)..... | 12 |
| Figure 8 : Régénération de pistachier de l'Atlas dans les touffes du jujubier (Région de Aïn Oussara, Messad)..... | 13 |
| Figure 9 : Facteurs de dégradation des pistacheraies..... | 19 |
| Figure 10 : Disposition des boites de Pétri dans l'étuve à 25°C..... | 30 |
| Figure 11 : Pré-germination des grains..... | 31 |
| Figure 12 : Disposition des Goblet dans la serre..... | 32 |
| Figure 13 : Dispositif expérimental adopté pour la germination..... | 33 |
| Figure 14 : Dispositif expérimental stade plantule..... | 34 |
| Figure 15 : Germination des graines..... | 38 |
| Figure 16 : Le taux de germination de deux provenances..... | 39 |
| Figure 17 : Comparaison des plantules de pistachier de l'Atlas selon les traitements de PEG.... | 40 |
| Figure 18 : Effet de concentration en PEG sur la longueur des parties aériennes et souterraines des jeunes plantules..... | 41 |
| Figure 19 : Effet de concentration en PEG sur la longueur de la tige (cm)..... | 42 |
| Figure 20 : Effet de concentration en PEG sur la longueur de racine (cm)..... | 43 |

| | |
|---|----|
| Figure 21: Effet de concentration en PEG sur le rapport de la longueur de racine sur tige... | 43 |
| Figure 22 : Effet de concentration en PEG sur le poids sec de tige (g)..... | 44 |
| Figure 23: Effet de concentration en PEG sur le poids sec de racine (g)..... | 45 |
| Figure 24 : Effet de concentration en PEG sur le rapport de poids sec de racine sur tige.... | 45 |
| Figure 25: Effet de concentration en PEG sur la surface foliaire (cm ²)..... | 46 |
| Figure 26 : Effet de concentration en PEG sur la teneur relative en eau (%)..... | 49 |
| Figure 27 : Effet de concentration en PEG sur la teneur de chlorophylle (a) mg/g..... | 51 |
| Figure 28 : Effet de concentration en PEG sur la teneur de chlorophylle (b) mg/g MF | 51 |
| Figure 29 : Effet de concentration en PEG sur la teneur de chlorophylle (c) mg/g MF..... | 52 |
| Figure 30 : Effet de concentration en PEG sur la teneur en proline mg/g MF..... | 53 |

LISTE DES ABREVIATIONS

ABA : Acide abscissique

U.F : unités fourragère

PEG : polyéthylène glycol

ATP : Adénosine Triphosphate

meq : Milliéquivalent.

µg : Microgramme.

Mg : Milligramme.

NaCl : Chlorure de sodium.

P : probabilité.

LA : La longueur de la partie aérienne (tiges + feuilles).

LR : la longueur de l'axe principale des racines des plantes.

Pf : point de Flétrissement.

Pr : poids à saturation,

PF : poids frais.

Ps : poids sec.

PSA : poids sec de la partie aérienne.

PSR : poids sec de la partie racinaire.

RWC : Relative Water Content (Teneur relative en eau).

CHAPITRE I : PRESENTATION DU PISTACHIER DEL'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 îles 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- *P. lentiscus* L. (Lentisque) qui est répartie dans toute l'Algérie.
- 2- *P. terebinthus* L. (Térébinthe) cette espèce est répartie surtout dans le Tell
- 3- *P. atlantica* Desf. (Bétoum) se trouvent dans toute l'Algérie sauf dans les régions trop arrosées.

2-REPARTITION GEOGRAPHIQUE 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)**.

2-1-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, l'Iran et la Baloutchistan.

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 le *Pistacia atlantica* Desf est présent dans les steppes d'Espagne, du Maghreb, d'Egypte (Sinai) et du proche Orient.



Figure 1 : Aire de répartition du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf) en région méditerranéenne (**QUEZEL et MEDIAL, 2003**).

2-2- En Algérie

Selon **MONJAUZE (1967)**, le pistachier de l'Atlas est l'arbre par excellence des hautes plaines centrales du Maghreb et des dayas (bas fond) 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 que ne laissaient prévoir les études antérieures.

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.

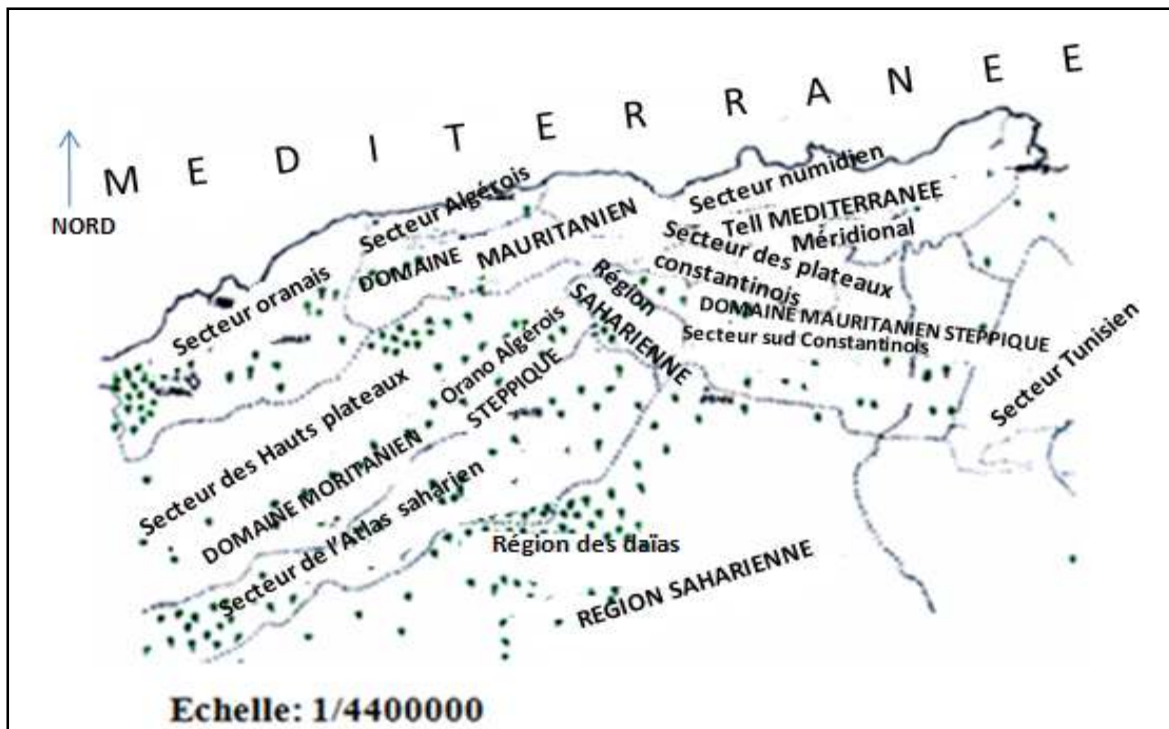


Figure 2 : Répartition du pistachier de l'Atlas en Algérie et en Tunisie MONJAUZE, (1968).

3-Systematique

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 : | Térébinthaceae |
| Famille : | Anacardiaceae |
| Sous-famille : | Rhoideae |

Genre : Pistacia

Espèce : *Pistacia atlantica* Desf

Le nom latin du *Pistacia atlantica* Desf, est proche de *Pistacia vera* L. et *Pistacia chinensis*. Son nom *Pistacia* donné par les romains, il dérive du persan 'posta', du grec pistate à noix [MANJAUZE, (1980) et (1968) ; SEIGNE, (1985)].

Les noms vernaculaires du pistachier sont :

Arabe locale : Elbetoum, Botma, Betouma, ou Btouma.

Berbère : Iggh

Touareg : Tedjog

Français : Pistachier de l'Atlas ou arbre à mastic.

4-Description de la plante

Les arbres de *Pistacia atlantica* sont assez grands, ils peuvent atteindre 25m d'hauteur **BELHADJ, (1999)**.

En Algérie, Les trois plus gros Bétoum se trouvent à Stisef, situé dans le tell oranais, non loin de Sidi Bel Abbés. Ces arbres avaient de dix-huit à vingt mètres de haut et leur tronc atteignait deux mètres de diamètre **MONJAUZE, (1980)**. La frondaison est en boule dans le jeune âge de la plante puis devient hémisphérique à l'âge adulte (**NEGRE, 1962**).



Figure 3 : Peuplement de pistachier de l'Atlas (Région d'Aïn Oussara).

4-1-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 lancéolés, rétrécies à la base.

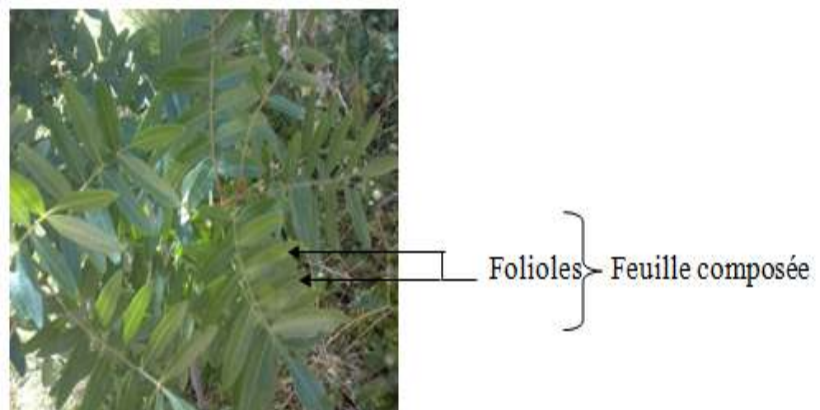


Figure 4 : Feuilles composées de *Pistacia atlantica* Desf

4-2-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 BIZI E 1963**). L'appareil reproducteur mâle présente un disque hypogyne bien organisé intra staminal. L'ovaire comprend trois loges uniovulées, avec cependant une seule loge fertile et un ovule apotrope.

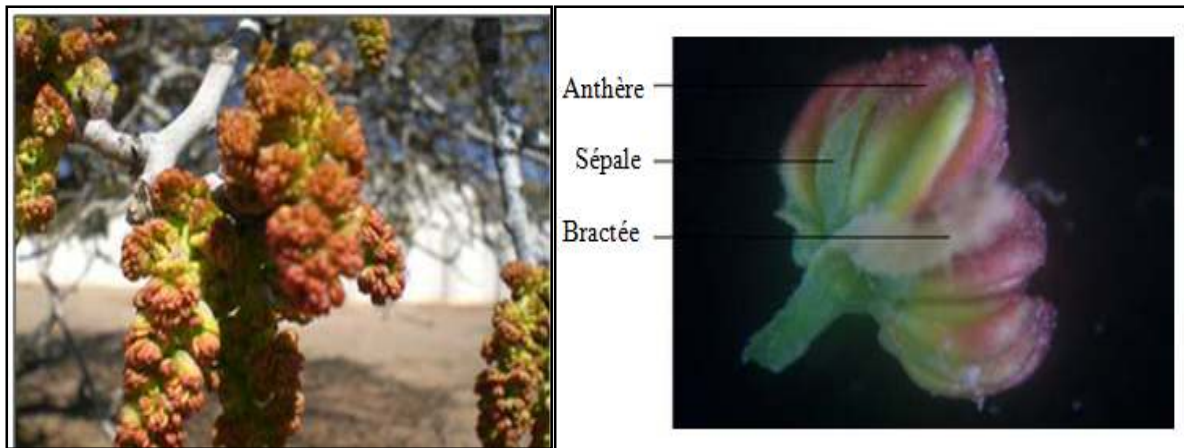
Les fleurs sont apétales, rougeâtres en grappes terminales pour les mâles et axillaires pour les femelles (**SEIGUE, 1985**).

Les fleurs mâles et femelles sont portées par des pieds différents. Mais quelques pieds exceptionnellement monoïques ont été observés dans la plaine de Tafrata (Région de Debdou), dont 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 (Figures 5 et 6). Ce sont des fleurs régulières avec une tendance à la zygomorphe (**YAAQOBI et al., 2009**).

4-2-1- Fleur mâle

Le calice possède quatre sépales. A l'aisselle du calice, il se trouve une bractée glabrescente (Figure 5B), allongée, de grande taille par rapport aux fleurs, et de couleur jaune pâle. Sa longueur varie entre 2 à 2,5 mm et sa largeur varie de 1 à 1,4 mm. A l'aisselle de chaque bractée, 5 étamines se développent, de couleur rouge pourpre, de 2 mm de longueur avec des filets courts et soudés à la base (**YAAQOBI et al., 2009**).



A

B

Figure 5 : Fleurs mâles du pistachier de l'Atlas **YAAQOBI et al., (2009)**.

A-Grappes rameuses des fleurs mâles.

B- Fleur isolée (x40).

4-2-2- Fleur femelle

Le calice a neuf sépales enchevêtrés entre eux et soudés à la base. Les sépales sont de taille variable. A l'aisselle du calice, il se trouve une bractée semblable à celle de la fleur mâle (Figure 6) (**YAAQOBI et al., 2009**).

Le gynécée présente trois carpelles concrescents avec une seule loge ovarienne fertile et un seul ovule apotrope pendant (à raphé dorsal). Ce dernier caractère a parfois paru suffisant pour faire des Anacardiacees une famille spéciale placée parmi les Sapindales (**DEYSSON, 1979**).



Figure 6: Fleurs femelles du pistachier de l'Atlas (YAAQOBI et *al.*, 2009).

A-Grappes de fleurs femelles (x10).

B- Fleur femelle isolée (x50).

4-3- Fruit

Le fruit appelé en arabe Elkhodiri 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 8mm de long et 5 à 6mm de large, il est de couleur rougeâtre (OZENDA, 1977). Il devient bleuâtre à la maturité (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 endocarpe osseux, abritant deux cotylédons exalbuminés (MANJAUZE, 1980) (Figure 7).

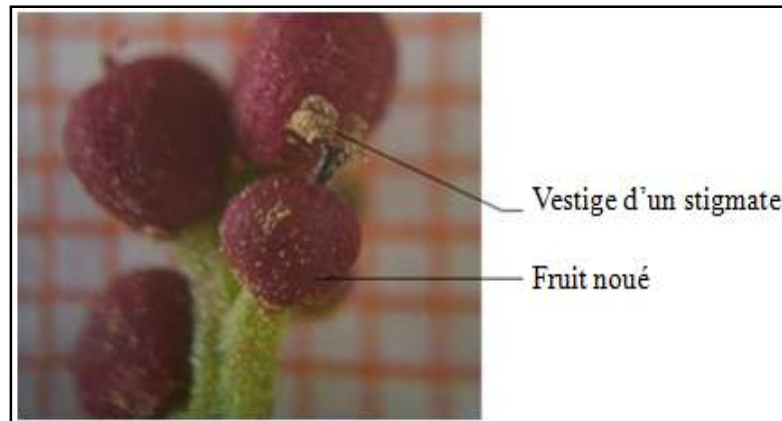


Figure 7:Fruits du pistachier de l'Atlas (YAAQOBI et *al.*, 2009).

4-4- Graines

La graine est plus ou moins verte contenant 50% d'huile. Les semences du Bétoum ont une germination très difficile, elles sont trop huileuses pour être conservées.

MANJAUZE, (1980) signale que dans une chambre froide, la conservation est plus longue pouvant aller jusqu'à 4 à 6 années.

Ce point de vue ne semble pas à être partagé par KHELLIL et KHELLAL, (1980). En effet, ces derniers concluent d'après leur étude que les graines de pistachier de l'Atlas perdent leur pouvoir germinatif très rapidement après quelques mois de conservation dans un milieu frais.

Cependant d'après les mêmes auteurs, des alternances de dessiccation et d'humectation du sol, interdisent la germination et tuent la semence elle-même.

4-5- 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).

D'après AIT RADI, (1979), le pistachier de l'Atlas est un arbre xérophile avec des racines pouvant descendre 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 importants 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.

5- Régénération

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**). La régénération par semence se trouve très réduite du fait que l'amande trop huileuse, rancit rapidement et ne peut être ainsi conservée assez longtemps dans la nature (pas plus d'un printemps) [**MONJAUZE, (1968)** ; **AIT-RADI, (1979)**].



Figure8 : Régénération de pistachier de l'Atlas dans les touffes du jujubier
(Région d'Aïn Oussara, Messad)

6- 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)**]. Le nombre de mois secs est égale à 11, soit environ 270 jours biologiquement secs.

Il arrive chaque année que la daya soit immergée dans l'eau plusieurs jours consécutifs donnant ainsi l'impression d'un lac temporaire d'où immergent les pistachiers et les jujubiers.

6-1-Exigences écologiques

6-1-1-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.

*Température

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

Selon **AIT RADI, (1979)**, le pistachier de l'Atlas résiste bien aux températures élevées. Les fleurs sont sensibles, mais échappent généralement à l'action néfaste des températures, en raison de leur tardivité.

Le pistachier de l'Atlas pourrait résister à des températures de 50°C en été **HADJ BRAHIM, (1993)** .Il est capable de survivre même si l'humidité du sol descend jusqu'à 4% dans les sols sableux.

D'après **REBOUR, (1968)**, le *Pistacia atlantica* Desf supporte sans défaillance les sécheresses les plus prolongées comme les fortes chaleurs qui sont même nécessaires pour la bonne maturation des fruits.

L'arbre n'est pas sensible au froid (**LE HOUEROU, 1995**), ses besoins sont d'environ 100 à 200 heures au dessous de 7°C (**ANONYME, 1999**).

*Pluviométrie

Selon **REBOUR, (1968)**, le Bétoum supporte une pluviométrie extrêmement faible. Il semble qu'il pourrait pousser sous les isohyètes de mois de 127mm par an.

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 d'Alger 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 250 mm est recensée dans les plaines de Boghari et Boughazoul (**AIT RADI, 1979**).

*Lumière

Le *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 *Zizyphus lotus* Desf. Ils bénéficient eux-mêmes de la lumière nécessaire sans difficulté. Il est à noter qu'un ombrage important nuira à la fructification (**AIT RADI, 1979**).

* 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 maintient énergiquement au sol.

6-2-Exigences édaphiques

* 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**).

* 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.

Bien que l'espèce se trouve plantée sur une large gamme de sols, se contenant des sols les plus ingrats, le pistachier de l'Atlas est réputé d'être gypso-calcicole, préférant des sols profonds et bien drainés. Selon **HADJ BRAHIM, (1993)**, le pistachier exige une assez forte teneur en calcaire allant de 20% jusqu'à même 80 %.

7- Multiplication de l'espèce

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 ces tissus émettent très difficilement ou n'émettent pas du tout de racines, même avec l'utilisation d'hormones stimulatrices et sous des conditions de mist système.

Quand au semis, il est assez délicat et demande beaucoup de soins, plusieurs étapes le caractérisent (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 d'excellentes conditions de milieu et d'humidité permanentes dans des tranchées de 1 à 5 mètres. Les fonds de ces tranchées sont recouverts d'une couche de sable grossier de 20 centimètres. Après trempage les graines sont recouvertes d'une première couche de sable et d'une recouvertes d'une autre 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 généralement 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 (N) Pendant deux heures.

8- 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**).

8-1-Intérêts écologiques

Le *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 résiste aux allants jusqu'à plus de 75%. Il résiste aux attaques de nématodes qui attaquent le 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 ces régions.

8-2-Intérêts socio-économiques

Le *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**).

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 0.35U.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 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 mélangées avec de l'eau sucrée et consommées en boulettes [**BELHADJ, (2006) et OZENDA, (1991)**]

Les fruits sont comestibles et très appréciés par les habitants. Ces fruits sont riches en huiles denses très énergétiques ayant un goût très proche de celui du beurre. Ils sont souvent

mélangés aux dattes écrasées et peuvent être consommés à toute heure de la journée avec du petit lait.

Les fruits sont aussi utilisés par la population locale d'une façon très artisanale en médecine comme antiseptiques pour les blessures et les troubles d'estomac (**OZENDA, 1991**).

L'huile peut être extraite du fruit est utilisée pour la saponification et pour préparer des produits cosmétiques adoucissants et éclaircissants (**CHIEF, 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 comme colle (**YOUSFI et al., 2003**).

9-Facteurs ayant contribué à la dégradation du pistachier de l'Atlas

En Algérie, si la régénération de l'espèce avait été protégée depuis longtemps, elle serait traduite par la constitution de population plus homogène, plus nombreuse et plus productive (**MONJAUZE, 1980**). Le déclin du pistachier est dû d'abord à des raisons économiques et à des budgets investis très limités dans la production, la régénération et l'entretien des pistacheraies naturelles des dayas. Parmi les facteurs ayant contribué à la dégradation des pistacheraies nous pouvons citer (Figure 9).

- * L'exploitation anarchique des pistachiers comme fourrage et bois de chauffage par les bergers et la population locale.

- * Le pâturage empêchant la régénération naturelle et le développement des jeunes pousses.

- * Le réseau routier qui traverse la plaine d'Oussara (destruction de centaines de pieds de pistachier).

- * Mauvais état sanitaire des arbres (attaque par le puceron doré provoquant des cloques ou des galles au niveau des feuilles (**BELHADJ, 1999**)).



Vieillessement des arbres de pistachier de l'Atlas (Région de Aïn Oussara)



Pied de pistachier utilisé comme cheminée (Région de Aïn Oussara)



Développement du réseau routier (Aïn Oussara)

Surpâturage (Région de Messad)

Figure 9 : Facteurs de dégradation des pistacheraies (OKARA, 2013).

CHAPITRE II : STRESS HYDRIQUE

1- Phénomène de sécheresse

La sécheresse se définit par un déficit des disponibilités en eau par rapport à une situation considérée comme normale pour une période donnée et une région déterminée. En réalité, il existe différents types de sécheresse (**ZID, 1982**).

- * La sécheresse climatologique essentiellement liée au déficit pluviométrique.
- * La sécheresse hydrologique ou hydrogéologique qui se manifeste par des étages anormaux et un abaissement prononcé des nappes.
- * La sécheresse édaphique est liée aux conditions pédologiques, cette classification adoptée par (**ZID, 1982**), concerne la sécheresse climatologique qui semble déterminé les autres types de sécheresse, la réduction des précipitations se présente nécessairement sur le milieu environnement. A cette notion de sécheresse s'associé le phénomène du stress hydrique.
- * La sécheresse est l'une des principaux facteurs limitantes des rendements à travers le monde (**MONNEVEUX P et THIS., 1997**).

2- Notion de stress

TSIMILLI-MICHAEL et al., (1998) considèrent que le stress a une signification relative, avec un contrôle comme état de référence. Ils considèrent le stress comme une déviation du contrôle à une contrainte. 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, le développement et le rendement des plantes (**MADHAVA RAO et al., 2006**).

2-1- Stress hydrique

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

En effet, on assiste à un stress hydrique lorsque la demande en eau dépasse la quantité disponible pendant une certaine période ou lorsque sa mauvaise qualité en limite l'usage (**MADHAVARAO 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, et intrusion saline) (**MOUHOUCHE et BOULASSEL, 1997**).

Le stress hydrique peut se définir comme étant le rapport entre la quantité d'eau nécessaire à la croissance de la plante et la quantité d'eau disponible dans son environnement.

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**).

3- Stress hydrique et la plante

Chez les végétaux, résistance à la sécheresse et 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 ralentir sa transpiration en fermant ses stomates. Elle évite ainsi la déshydratation, mais réduit au 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 (**TARDIEU, 2000**). 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 détermine 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).

4- Effet du stress hydrique sur le développement des plantes

4-1- 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.

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 et intervient dans les réactions métaboliques comme l'hydrolyse ou la photosynthèse. Permet la turgescence des cellules et par là même des tissus et des organes et 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 de supporter les rayonnements solaires et les divers échauffements climatiques.

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 de véhicule aux 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).

· Etats de l'eau dans la plante

Dans la plante, l'eau est 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, l'eau de constitution, se trouvent stabilisant la structure tertiaire de certaines macromoléculaires protéiques et ne pouvant absolument pas être enlevée de ces protéines sans en entraîner la dénaturation (**MAZLIAK, 1981**).

· 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.

4-2- Eau dans le sol

L'eau est liée aux constituants du sol par: les forces osmotiques qui sont dues aux attractions exercées sur l'eau par les ions de la solution du sol et par 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 un des autres et qui peuvent même être complémentaires (**JONES et al., 1980**).

Ces mécanismes sont d'ordre morphologique et physiologique.

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 (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 (O'TOOLE et CRUZ 1980).

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 absicique (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 un osmoprotectant qui s'accumule dans le cytosol. En présence d'un stress hydrique, la teneur en proline augmente dans différentes organes de la plante (tige, racine et feuille). Cette augmentation serait due à la synthèse de de la proline. Dans le cas de la sécheresse l'accumulation de 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 (**HANDA et al., 1986**).

Un grand nombre de plantes synthétisent dans leurs feuilles de la proline à partir de la glutamine. 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 réapparaît (**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 augmente considérablement lors d'un stress hydrique (**GIROUSSE et al., 1996**).

5-2-4- Accumulation des sucres solubles sous stress

BENSARI et al., (1990) 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 tel que le glucose, le 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 ; en effet, cela a été vérifié par (**CHUNYANG, 2003**) chez des arbres adultes d'eucalyptus sous différents stress hydriques.

V-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 aux caroténoïdes (pigments accessoires)

. Chlorophylles

Les chlorophylles des plantes supérieures sont représentées par les chlorophylles (a, b et c.

La chlorophylle (a) est considérée comme pigment photosynthétique le plus commun du règne végétal ; il est présent chez tous les végétaux aquatiques et terrestres. Les chlorophylles (b) et (c) sont des pigments accessoires.

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

5-2-6-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 la quantité d'eau présente dans les feuilles par un. 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 donc 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 de travail

Notre travail consiste à l'étude de l'effet de stress hydrique sur la germination. Ainsi que le suivi le comportement et la croissance des plantules sous l'effet du stress hydrique.

Ces deux expérimentations nous permettent suivre la réaction aussi que la tolérance et l'adaptation des plantules de pistachier de l'Atlas aux conditions difficiles.

2-Site d'expérimentation

Nous avons réalisé notre travail au sein du laboratoire d'Amélioration végétale du département d'agronomie de la faculté des sciences Agro-vétérinaires de l'université Saad Dahleb- Blida.

3-Matériel végétal et conditions de culture

Au cours de notre expérimentation, nous avons utilisé des drupes mure des arbres de pistachier de l'Atlas. ces derniers se trouvent à l'état naturel dans les régions de Messad et Aïn oussara dans la wilaya de Djelfa. Les graines ont été récoltées en septembre sur des arbres adultes âgés d'environ 50 ans. Nous avons conservé les grains à l'abri de l'humidité dans un sachet en papiers raft jusqu' a leur utilisation.

4- Préparation des grains

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.
- Après sélection des graines, 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 (NaCl O) à 8% pendant 5 minutes pour éviter la prolifération des champignons et les contaminations.
- Rinçage à l'eau distillée (3rincages).

5- test de germination

Nous avons réalisé nos essais de germination dans des boites à Pétri en plastique de 9 cm de diamètre contenant 25 grains. Quatre (04) répétitions par traitement ont été effectuées.

Les graines utilisées pour l'étude de l'effet de stress hydrique sur la germination sont arrosés par les différentes concentrations de PEG : 5, 10, 15, 20, 25, 30g /l avec un témoin soit 28 boites de Pétri.



Figure 10 : Disposition des boites de Pétri dans l'étuve à 25°C.

6-Etude du stress hydrique sur les plantules

D'autres graines ont été arrosées par l'eau distillée afin d'être repiquées pour la deuxième partie de l'expérimentation qui consiste à l'étude de l'effet de stress hydrique au stade plantule.

Après 7 jours de germination, les graines ainsi germées ont été repiquées à raison de 2 graines par gobelet. La capacité du gobelet est de 50 ml perforée à la base.

Nous avons utilisé comme substrat 1/3tourbe et 2/3 sol stérilisé.

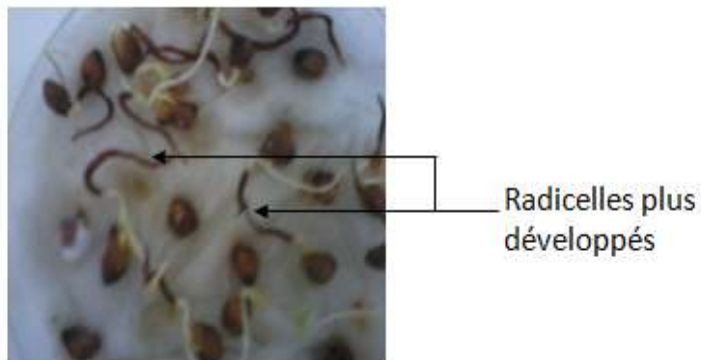


Figure 11 :pré-germination des grains.

Les plantules ont été arrosées avec l'eau de robinet pendant 30 jours pour favoriser leur reprise avant de leurs faire subir le stress.

La méthode adoptée pour l'étude du comportement des plantules obtenues du pistachier de l'Atlas vis-à-vis du stress hydrique est l'uniformisation des échantillons de plantules. Pour cela nous avons choisir des plantules ayant une hauteur d'environ 4 à 6 cm.

Les solutions sont préparées en mélangeant polyéthylène glycol (PEG) par l'eau du robinet au niveau de laboratoire.

Pour cela, nous avons préparé six (06) concentrations différents avec témoin à savoir : 0, 5, 15, 20, 25 et 30g/l de PEG.

Nous avons arrosé les plants un jour sur deux à raison de 100 ml/pot, avec les solutions déjà préparées.



Figure 12 : Disposition expérimental sous serre.

7- Données du sol

Des analyses chimiques et physiques du sol de la station expérimental d’agronomie ont été réalisées au laboratoire d’analyse du sol au département des sciences agronomiques (Tableau1).

Tableau 1 : Analyse chimique du sol de la station expérimentale.

| | pH | CE (μ s) | Calcaire (%) | MO (%) | Azote (%) | Phosphore (ppm) | Potassium (ppm) |
|-------------------|------|---------------|--------------|--------|-----------|-----------------|-----------------|
| Sol de la station | 7.70 | 0.47 | 0.22 | 1.05 | 0.172 | 60 | 14 |

Tableau 2 : Composition physique du sol.

| | Argile (%) | Limon fin (%) | Sable fin (%) | Sable grossier (%) |
|-------------------|------------|---------------|---------------|--------------------|
| Sol de la station | 4.90 | 16.81 | 14.58 | 63.58 |

8- PEG polyéthylène glycol

Le stress hydrique est provoqué par le polyéthylène glycol (PEG 6000). Le PEG sont des polymères polyéthers linéaires de faible masse molaire (inférieur à 20000g/mol) fabriqués à partir de monomères d'éthylène glycol. Leurs propriétés hydrosolubles en font des produits utilisés dans un grand nombre d'industrie (médical, cosmétique...). Ils sont appelés aussi macrogol dans le domaine médical.

9-Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental adopté au cours de notre expérimentation est un bloc aléatoire complet sans contrôle d'hétérogénéité à randomisation totale.

9-1- Stress au stade germinatif

Durant cette étape, deux facteurs ont été étudié :

- le PEG à 7niveaux : T₀, T₁, T₂, T₃, T₄, T₅, T₆.
- la Provenance (Aïn oussara et Messad).

Le nombre de répétitions étant de 4, alors nous avons 28 observations (4*7) (figure13).

| | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| R4 | R4 | R4 | R4 | R4 | R4 | R4 |
| R3 | R3 | R3 | R3 | R3 | R3 | R3 |
| R2 | R2 | R2 | R2 | R2 | R2 | R2 |
| R1 | R1 | R1 | R1 | R1 | R1 | R1 |
| T ₂ | T ₁ | T ₅ | T ₇ | T ₆ | T ₄ | T ₃ |

R1 à R4 : Répétitions

T₀ : Témoin T₁ : 5g/l T₂ : 10g/l T₃ : 15g/l T₄ : 20g/l T₅ : 25g/l T₆ : 30g/l de PEG.

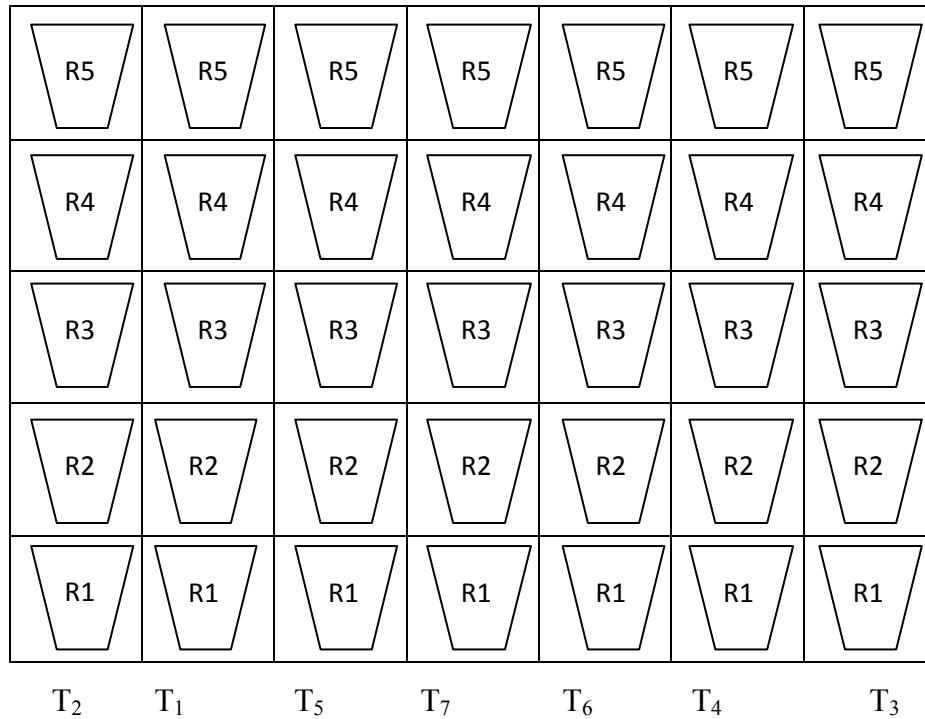
Figure 13 : Dispositif expérimental adopté pour la germination

9-2- Stress au stade plantules

Au stade plantule, un seul facteur est étudié, suite aux difficultés rencontrés lors de notre expérimentation, une seule région a été retenue, il s'agit de la région de Messad.

La concentration en sel de PEG à 7 niveaux : T₀, T₁, T₂, T₃, T₄, T₅, T₆.

Le nombre de répétitions étant de 5, nous avons alors 35 observations (5*7) (figure14).



R1 à R4 : Répétitions

T₀ : Témoin T₁ : 5g/l T₂ : 10g/l T₃ : 15g/l T₄ : 20g/l T₅ : 25g/l T₆ : 30g/l de PEG.

Figure 14 : Dispositif expérimental stade plantule.

10- Paramètres étudiés

Afin de déterminer l'effet des différents traitements de PEG sur les espèces étudiées, des paramètres biométriques, physiologiques et biochimiques ont été mesurés.

10-1-Taux de germination

Le comptage consiste à dénombrer le nombre des graines germées dans chaque boîte de Pétrie. Une graine est considérée germée lorsqu'elle émet une radicule et une gemmule de 1mm.

10-2-Paramètres morphologiques au stade plantule

10-2-1-Croissance en longueur

La croissance en longueur de la partie aérienne et racinaire est évaluée après avoir récolté les plantes. Nous avons alors séparé la partie aérienne de celle souterraine. Nous avons lavé soigneusement les racines avant de les sécher rapidement avec du papier filtre.

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 4 répétitions/traitement.

10-2-2- Poids sec de la partie aérien et racinaire

La biomasse sèche aérienne (BSA) et racinaire (BSR), exprimée en gramme a été effectuée par pesée de la matière sèche après étuvage à 80°C de la matière fraîche pendant 48heures.

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.

10-2-3- Surface foliaire

La méthode de [PAUL *et al.*, (1979) in BOUARROUDJ (2003)] a été étudiée. Elle consiste à reproduire la surface foliaire sur papier, ainsi la surface de la feuille qui est estimée à partir du poids de la feuille en papier par rapport au poids de 3cm² du même papier.

10-3-Paramètres physiologiques

10-3-1-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 végétale.

La teneur relative en eau (RWC) a été mesurée sur une feuille bien développée selon la méthode de **BARRS et WEATHERLEY, (1962)**. Le limbe foliaire excisé à sa base est immédiatement 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

9-3-2-Dosage de chlorophylle

Pour chaque essai nous avons utilisé 0.1 mg de matière végétal (pour chaque essai) prélevés 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 surnageant obtenus est mesurée à 470 nm et 645 nm et 663 nm (spectrophotomètre Perkin Elmer Lambda 5 U.V).

La mesure de la chlorophylle est calculée selon la méthode de **FRANCIS et al., 1970** :

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

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

$$\text{- Chl(c) (mg /g MF)} = 1000 * \text{DO}_{470} - [1.82 \text{ Chl a} - 85.02 \text{ Chl b}] / 15$$

V: volume de solution extraite.

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

9-4-Paramètres biochimiques

9-4-1-Dosage de la teneur en proline

La méthode utilisée est celle de **TROLL et LINDSLEY, (1955)**, améliorée et cité par **DREIER et GARING (1974) in BOUCHOUKH I, (2010)**.

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

- 1 ml d'acide acétique (CH₃COOH),

- 25 mg de ninhydrine (C₆H₆O₄),

- 1 ml de mélange contenant : de l'eau distillée, acide acétique et acide acétique (Annexe1).

Le mélange est porté à ébullition pendant 30 minutes ou la solution devient rougeâtre. 5 ml de toluène sont rajoutés à la solution qui est agitée. Deux phases se séparent puis on laisse refroidir et après avoir déshydraté 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 établi à partir d'échantillon contenant des quantités de proline connues (Annexe 2).

10- L'analyse statistique. Il se fait à l'aide de logiciel systat 7

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. **ABBYES H et BIZI E., (1963)** Botanique (anatomie, cycle évolutifs, systématique). Ed. Massouet C .1039P.
2. **ABDELGUERFI A, LAOUAR M., (2004)** Le frêne (*Fraxinus* spp) et le pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica*) – Ed. Ecologie et utilisation en Algérie. 60P.
3. **AIT RADI A., (1979)** Multiplication par voie végétative et par semis de *pistacia atlantica* d'Atlantus altissima. Mém. Ing. I.N.A.El Harrach Alger. 40P.
4. **AIT SAID S., (2003)** Etude biosystème et évolution adaptative de *Pistacia atlantica* Desf – Cas de deux populations dans la région de Djelfa. Mém. Mag. Agro. INA. El Harrach, Alger.113P.
5. **ALBOUCHI A., SEBEI H., MEZNI M. Y. et EL AOUNI M. H., (2000)** Influence de la durée d'une alimentation hydrique déficiente sur la production de biomasse, la surface transpirante et la densité stomatique d'*Acacia cyanophylla*. *Annales de l'INRGREF*. N° 4 : PP. 61-138.
6. **ALETA N.; NINOT A.; ROUSKAS D.; ZAKINTHINOS G.; AVANZATO D. et MENDES GASPAR A., (1997)** La multiplication su 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.
7. **ALYAFI J., (1979)** Approche systématique et écologiques du genre Pistacia dans la région méditerranéenne-Thèse de 3ème cycle Faculté des sciences technologique de ST-JEROME. Marseille 120P.
8. **ANONYME., (1999)** Délimitation des zones à vocation pistachier au Maroc .Bull de liaison du programme national de transfert de technologie en agriculture (Maroc). PP.18-22.
9. **BARRS et WEATHERLEY., (1962)** Etude particulière des facteurs hydriques basés sur l'établissement de courbes d'absorption de l'eau de disques de limbe mis en flottaison. Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive (CNRS-UPR 9056). PP. 235-368.
10. **BELHADJ S., (2006)** Les pistacheraies Algériennes. Etat actuel et dégradation. Centre universitaire de Djelfa, Algérie. Rapport 30P.
11. **BELHADJ S., (1999)** Pistachio situation in Algeria. FAO-Ciheam-Nucis Newsletter. Universitaire de Djelfa, Algérie. N°8. 30P.
12. **BENSARI M., CALME S.J. et VIALA G., (1990)** Répartition du carbone fixé par photosynthèse entre l'amidon et le saccharose dans la feuille de soja : influence d'un déficit hydrique : Plant. physio. Biochimie. Vol. 28, PP. 113-124.
13. **BERKA S., (2001)** effets de quelques traitements physico-chimiques et de la température sur la faculté germinative de la graine d'arganier. Rev. For. Fr. N° 2, PP. 9-125.

14. **BIRIEK A., (1994)** The influence of osmoconditioning in polyethylene glycol (peg 6000) on the germination and emergence of carrot and parsley seeds. *Acta. Hort.* Vol. 371, PP. 77-82.
15. **BLUM A., (1996)** Crop responses to drought and the interpretation of adaptation plant growth regulation. Vol. 20, PP. 135 - 148.
16. **BLUM A., (1988)** Plant breeding for stress environments. Ed. Boca Raton: CRC Press 223 P.
17. **BOUDY P., (1955)** Economie forestière Nord Africaine. Ed. Larousse, Paris, 687 P.
18. **BOUDY P., (1952)** Guide du forestier en Afrique du nord. Ed. la Maison Rustique, Paris, 504P.
19. **BOUSBA R., YKHLEF N. et 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. N° 5, PP. 609 -616.
20. **BOIS G., (2005)** Ecophysiologie de semis de conifères ectomycorhizés en milieu salin et soclique. Thèse de doctorat 187 P.
21. **BOYER J.S., (1982)** Plant productivity and environment. *Sci*, New series. Vol. 218, PP. 443 - 448.
22. **BOYER J.S., (1970)** Differing sensibility of photosynthesis to low of water potential in corn and soybean plant *physiol.* Vol.46, PP. 236-239.
23. **BRICHET M., (1931)** Compte rendu du livre des journées de l'arbre fruitier .Alger 735 P.
24. **BROUSSE G., (1974)** Etude bibliographique sur la culture du pistachier polycopie.I.N.A El Harrach. 40P.
25. **BOUARROUDJ Z., (2003)** Short- Circuits conditions on IGBT lifetime. Conference EPE Toulouse. PP. 101-146.
26. **BOUCHOUKH I., (2010)** comportement éco physiologique de deux Chénodiacées des genres *Atriplex* et *Spinacia* soumises au stress salin *Mém. Mag.* 103P.
27. **CHAABANE R., M'BAREK B., SDIRI H et LAID M., (2001)** Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production en grains de quelques variétés magrébines de blé. *Sécheresse.* Vol. 12, PP. 167-174.
28. **CECHIN I., ROSSI S.C., OLIVEIRA V.C. et FUMIS T.F., (2006)** Photosynthetic responses and proline content of mature and young leaves of sunflower plants under water deficit. *PHOTOSYNTHETICA.* Vol. 44, N° 1, PP. 143-146.
29. **CHIEF R., (1982)** Les plants medicinal. Ed. Solor, 235P.
30. **CHUNYANG L., (2003)** Differences in drought responses of three contrasting *Eucalyptus microtheca* F. Muell. Populations. Uni of Helsinki. Finland. *Forest Ecology and Management.* Vol. 179, PP. 377- 385.
31. **CLARCK et MAC-CAIG., (1982)** Excised leaf water relation capability as an indicator of drought resistance of *Triticum* genotypes. *Can.J. Plant. Sci.* Vol. 62, PP. 571-576.
32. **CRUIZIAT P et TYREE M.T., (1990)** La montée de la sève dans les arbres. *Rev. La recherche.* Vol. 21, N°220, PP. 406 – 414.
33. **DAJOZ R., (1996)** Précis d'écologie. Ed. Dunod, Paris, 551 P.
34. **DAVIES W.J, ZHANG J., (1991)** Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. *Annu. Rev. Plant. Phys. Mol. Bio.* Vol. 42, PP. 55-76.

35. **DEYSSON G., (1979)** Organisation et classification des plantes vasculaires. In "Cours de botanique générale, quatrième série, tome II. Ed. Société d'enseignement supérieur, Paris. 340P.
36. **DREYER E., (1997)** Photosynthesis and drought in forest trees. Trees-Contributions to Modern Tree Physiology. (Rennenberg, H., Eschrich, W. et Ziegler, H). Backhuys Publishers, PP. 215- 238.
37. **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.
38. **ELIANE CRISTINA G.V., IVAN S., MARCOS P., CARLOS A.S., HUGO BRUNO C.M., CELSO J.M. and ELLIS R.J (2007)** The molecular chaperone concept. *Semin. Cell. Biol.* N° 1, PP. 1- 9.
39. **EMBERGER, (1960)** «Traité de botanique systématique». Ed. Masson and Cie. Paris, 1539P.
40. **FERRYRA R., SELLES 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.* Vol 664: PP. 233- 236.
41. **FOURNIER P., (1952)** Arbres, arbustes et fleurs de pleine terre (Encyclopédie biologiques). Paris TOME II. PP. 415-416.
42. **FRANCIS; BUKARD; DLASKA., (1970)** flow networks and combinatorial. *Operations research* 5472. PP. 101-297.
43. **GEIGENBERGER P., REIMHOLZ R., GEIGER M., MERLO L., CANALE V. et STITT M., (1997)** Resolution of sucrose and starch metabolism in potato tubers in response to short-term Water deficit. *Planta.* Vol. 201, PP. 502 -518.
44. **GIROUSSE C., BOURNOVILLE R., BONNEMAIN J.L., (1996)** Water deficit induced changes in concentrations in proline and some other amino acids in the phloem sap of *alfa*. *Plant. Phys.* Vol. 111, PP. 109-113.
45. **HADJ IBRAHIM., (1993)** Le pistachier vrai, revue en arabe des études des zones arides et semi aride (ACSAD), Damas (Syrie), 47P.
46. **HANDA S., HANDA A K., HASEGAWA P.M and BRESSAN R.A., (1986)** Proline accumulation and the adaptation of cultured plant cells to water stress. *Plant. phys.* Vol. 80, PP. 938-945.
47. **HARE P.D. et CRESS W.A. (1997)** Dissecting the roles of osmolyte accumulation during stress. *Plant. Cell. and environment.* Vol. 21, PP. 535 - 553.
48. **HARROUNI M.R., ZAHRI S et EL-HAMAID A., (1995)** Transplantation des jeunes plantules d'arganier : effet combiné de techniques culturales et du stress hydrique. Acte du colloque international la forêt face à la désertification « cas des arganeraies ». Faculté de la science, Agadir, PP. 115 - 33.
49. **HELLER R., (1989)** Physiologie végétale. Ed Masson, coll. Algérie. Paris, PP. 8-19.
50. **HELLER R., ESNAULT R., LANCE C., (1998)** Physiologie végétale. Tome I: Nutrition. 6^{ème} Ed. DUNOD, Paris, 47 P.
51. **HENCHI B., (1987)** Effets des contraintes hydriques sur l'écologie et l'écophysiologie de *Plantago albicans*. L. Thèse de doctorat d'État. Univ. Tunis. 120P.

52. **HIKOSAKA K., ISHIKAWA K., BORJIGIDAI A., MULLER O. et ONODA Y. (2006)** Temperature acclimation of photosynthesis: mechanisms involved in the changes in temperature dependence of photosynthetic rate. *J. Exp. Bot.* Vol. 57, PP. 291-302.
53. **JONES H.G., FLOWERS T.J. et JONES M.B., (1989)** *Plants Under Stress.* Univ. Cambridge. Kimber. PP. 126-132.
54. **JONES M.M., TURNER N.C; OSMOND C.B (1980)** Accumulation of solutes in leaves of sorghum and sunflower in response to water deficits. *Plant Physiol.* Vol. 7, PP. 193-205.
55. **KADDOUR H., (2008)** Contribution à l'étude du comportement morpho-physiologique et biochimique de *Pistacia atlantica* Desf. sp. *atlantica*, stressée à la salinité. *Mém. Mag. en physiologie végétale.* 72P.
56. **KHICHANE M., (1988)** Etude de la morphogénèse et des rythmes de croissance des systèmes racinaires du jojoba (*Simmondsia chinencis link*) et du Pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf). *Essais de production de plantes en pépinières.* Th. INA. El Harrach 68P.
57. **KHILLIL et KHELLAL., (1980)** Possibilité de culture et détermination des zones à vocation pistachier en Algérie. *Institut de recherche sur les fruits et agrumes FRULAS.* Vol. 35(3), PP. 137-202.
58. **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. *Mém. Ing. IAP.* 87P.
59. **KRAMER PJ., (1983)** *Water relation of plants.* London: Ed. Academic Press Inc, 489 P.
60. **LABERCHE J-C., (2004)** La nutrition de la plante In *Biologie Végétale.* Dunod. 2e Ed. Paris, PP. 154 -163.
61. **LAMZERI H., (2007)** Réponses écophysiologicals de trois espèces forestières du genre *Acacia*, *Eucalyptus* et *Schinus* (*A. cyanophylla*, *E. gomphocephala* et *S. mölle*) soumises à un stress salin. *Mém. Mag. en Ecologie et Environnement .Option : Ecologie végétale.* Université Mentouri Constantine. 141P.
62. **LEBON E., PELLEGRINO A., TARDIEU F. ET LECOEUR 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.
63. **LE HOUEROU H.N., (1995)** Bioclimatologie et biogéographie des steppes arides du nord de l'Afrique. (Diversité biologique, développement et désertification. *Option méditerranéen*, N° 10, 287 P.
64. **LUDLOW M.M., MUCHOW R., (1990)** A critical evaluation of traits for improving crop yields in water limited environments. *Adv. Agro.* Vol. 43, PP. 107-53.
65. **MADHAVA RAO K.V., RAGHAVENDRA A.S. et JANARDHAN REDDY K., (2006)** Printed in the Netherlands. *Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants.* Springer. PP. 1-14.
66. **MAZLIAK P., (1981)** *Physiologie végétale. Nutrition et métabolisme.* Collection des Méthodes, Herman, Paris. 530P.
67. **MAZOUZ L., (2006)** Etude de la contribution des paramètres phéno morphologiques dans l'adaptation du blé dur (*Triticum durum* Dsf.) dans l'étage bioclimatique semi aride. *Mém. Mag. Dept. Agr. Fac. Sci. UHL. Batna, Algérie.* 98P.

68. **MEINZER F.C., GRANTZ D.A., (1990)** Stomatal and hydraulic conductance in growing sugarcane: stomatal adjustment to water transport capacity. *Plant, Cell Environ.* Vol. 13, PP. 383-388.
69. **MONJAUZE A., (1965)** Répartition et écologie de *Pistacia atlantica* Desf en Algérie. *Bull. Soc.His.Natu Afrique du nord.* Tome. PP. 56.128.
70. **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.*
71. **MONJAUZE A., (1968)** Répartition écologie de *Pistacia atlantica* Desf. En Algérie. ; *Bul. Sociol. Histoire naturelle de l'Afrique du nord.* Vol. 56(2), PP. 5-128.
72. **MONJAUZE A., (1980)** Connaissance du Bétoum (*Pistacia atlantica* Desf.). *Rev. Fore. Franc. Biologie et forêt.* N° 4. PP. 357-363.
73. **MONNEVEUX P et THIS D., (1997)** La génétique face aux problèmes de la tolérance des plantes cultivées à la sécheresse : espoir et difficulté. *Cahier ``sécheresse``.* Vol.8. N°1, PP. 29- 37.
74. **MORGAN J.M., (1984)** Osmorégulation and d water stress in higher plants. *Ann Rev Plant. Physio.* Vol. 35, PP. 299-319.
75. **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, 57P.
76. **MOUGOU A., (1984)** Évaluation de la résistance à la sécheresse par des paramètres morphologiques, écophysiologicals et biochimiques chez plusieurs espèces de tomate. Thèse doc Ès-sciences, université de l'État à Gand, 208 P.
77. **MOUHOUCHE B. et BOULASSEL A., (1997)** Gestion rationnelle des irrigations des compléments des cultures de légumineuses alimentaires et céréales. *Recherche agronomique. INRA.* N°1, PP. 21-31.
78. **NEGRE R., (1962)** petite flore des régions arides du Maroc occidental. Tom II Ed. Centre nationale de la recherche scientifique, Paris, 566P.
79. **NONAMI H., (1989)** Turgor and growth at low water potentials *plant physiol.* Vol. 89, PP. 798-804.
80. **NOURI L., (2002)** Ajustement osmotique et maintien de l'activité photosynthétique chez le blé dur (*Triticum durum*, Desf), en condition de déficit hydrique. *Mém. Mag. en Biologie végétale Univ Mentouri. Constantine.* 77P.
81. **O'TOOLE J.C., CRUZ R.T., (1980)** Response of leaf water potential, stomatal resistance and leaf rolling to water stress. *Plant. Physio.* Vol. 51, PP. 993-997.
82. **OUDAH., (1982)** Contribution à l'étude des principales essences d'intérêt fourrager des régions semi-aride et aride d'Algérie. Application à quelques espèces. *Mém. Ing. INA. El Harrach.* 96P.
83. **OZENDA P., (1977)** Flore du Sahara. Ed. CNRS. 622 P.
84. **OZENDA P., (1991)** Flore et végétation du Sahara, Ed. CNRS. 1224 P.
85. **PASSIOURA J.B., (1977)** Grain yield, harvest index and water use of wheat. *J Aust. Agric Sci.* Vol. 43, PP. 20-117.
86. **PASSIOURA J.B., (1982)** Water in the soil – plant- atmosphere continuum. In «*Encyclopedia of plant physiology* », new series, Vol. 12 B, PP. 5-33.
87. **QUEZEL P et SANTA S., (1963)** Nouvelle flore de l'Algérie et des zones désertiques méridionales. Paris CNRS. 2 Tomes. 1170P.

88. **QUÉZEL P.** et **MÉDAIL F., (2003)** Ecologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen. Edition Elsevier, collection environnement, Paris, 571 P.
89. **REBOUR H., (1968)** Fruits méditerranéens autre que les agrumes. Ed. La maison rustique 312P.
90. **RICHTER G., (1993)** Métabolisme des végétaux. Physiologie et biochimie. Presse polytechniques et universitaires romandes. 5ème Ed. 526P.
91. **SALAH H.B.H., TARDIEU F., (1997)** Control of leaf expansion rate of droughted maize plants under fluctuating evaporative demand. A superposition of hydraulic and chemical messages. *Plant Physiol.* Vol. 114, PP. 893-900.
92. **SANTARIUS K.A., (1973)** The prospective effect of sugars on chloroplast membranes during temperature and water stress and its relationship to frost, dessication and heat resistance. *Planta.* Vol. 113, PP. 23-46.
93. **SAVOURE A., JAOUA S., HUA XUEJUN., ARDILES W., VAN MONTAGU M. AND VERBRUGGEN N., (1995)** isolation, characterization, and chromosomal location of a gene encoding the delta 1-pyrroline-5-carboxylate synthetase in *arabidopsis thaliana*. *Febs letters.* Vol. 372, PP. 13 -19.
94. **SEIGUE A., (1985)** La forêt circum-méditerranéenne et ses problèmes. Maisonneuve et Larousse. Ed. Paris. 502P.
95. **SIKHENE N., (1984)** : Effet du stress hydrique Sur quelques espèces de luzerne Annuelle. 80P.
96. **SLAMA A., BEN SALEM M., BEN NACEUR M., ZID, B., (2005)** Les céréales en Tunisie: production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance. *Rev. Sécheresse.* Vol 16 (3), PP. 9-225.
97. **SLAYTER R., (1974)** the effect of internal water status on plant growth development and yield in: plant responses to climatic factors .*Proc.of upsal simpium, UNESCO.* Rev. Vol. 19, PP 135-229.
98. **SORRELLS M.E., SERIDI R., PAUL, R (2000)** Comparative genetics of drought tolerance. *Options méditerranéennes série A.* Vol. 40, PP. 191-201.
99. **SOUALMI N., (2008)** Caractérisations physiologique, biochimique, anatomique et morphologique chez *Atriplex halimus* L. stressée à la salinité. Thèse de Magister. Univ. Es Senia. Oran, Algérie, 77P.
100. **STEWART CR, Lee JA., (1974)** The role of proline accumulation in halophyts. *Planta* Vol. 120, PP. 89-273.
101. **STRYER L., (1992)** La biochimie de Lubert Stryer. Eds. Médecine Science Flammarion: Paris, 1088P.
102. **SUBBARAO G.V., (1995)** Strategies for improving drought resistance in grain legume. *Crit Rev Plant. Sci.* Vol. 14, PP. 469- 523.

103. **SPINA P.** et **PENNISI F.**, (1957) La culture du pistachier en Sicile. Rev. Ortoflorofructiculti. Italie. PP. 533-557.
104. **TAFFOUO V. D.**, **KENNE M.**, **TASSE R.**, **WAMBA O. F.**, **FONKOU T.**, **MVONDO Z.** et **AMOUGOU A.**, (2004) Variation de la réponse au stress salin chez cinq espèces de légumineuses. Agronomie africaine. Vol. 16, PP. 33-44.
105. **TEMAGOULT M.**, (2009) Analyse de la variabilité de la réponse au stress hydrique chez des lignées recombinantes de Tournesol (*Helianthus annuus L.*) Mém. Mag. En Biotechnologies Végétales (Ecole Doctorale) 106P.
106. **TAHRI E.**, **BELABED A.** et **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.*). Bull. de l'Institut Scientifique. Rebat. Vol. 21, PP. 81-89.
107. **TARDIEU F** et **DREYER E.**, (1997) Régulation des échanges gazeux par les plantes soumises à la sécheresse. Production végétale et qualité de l'eau. I.N. R.A. 2ème Ed. 59 P.
108. **TARDIEU F.**, (2000) La modélisation de la tolérance à la sécheresse. Bio. Future N°205, Ed. Elsevier, 47 P.
109. **TAYLOR CR.**, (1996) Proline and water deficit: UPS, Downs and Outs. The plant cell. N° 8, PP. 1221-1224.
110. **TAZI M.R.**, **BERRICHI A** et **HALOUI B.**, (2003) Effets du polyéthylène glycol sur la germination et la croissance in vitro de l'arganier (*Argania spinosa L. Skeels*) des Beni Snassen (Maroc oriental). Sécheresse. Vol. 14. N° 1, PP. 23-27.
111. **THAKUR P.S.** et **RAI V.K.**, (1982) Effect of water stress on protein content in two maize cultivars differing in drought resistance. Biologia Plant (Praha). Vol. 24, PP. 96-100.
112. **THIERRY L.**, (1987) L'arganier au Maroc sa description, ses méthodes de multiplication et son application en reforestation. Mém. Ing. Technique, Institut provençal d'enseignement supérieur agronomique et technique, 183P.
113. **TSIMILLI-MICHAEL M. M.**, **PECHEUX R.J.** et **STRASSER.**, (1998) Vitality and stress adaptation of the symbionts of coral reef and temperate foraminifers probed *in hospite* by the fluorescence kinetics O-J-I-P. Archs. *Sci.* Genève. Vol. 51, PP. 205-240.
114. **TURNER N.C.**, (1990) the benefits of water deficit. In: proceedings of the international congress of plant physiology, New Delhi. India. Vol. 2, Sol. Physio. Biochem. New Delhi. PP. 212-234.
115. **TURNER N.C.**, (2001) Adaptation of grain legume to water-limited environments. Adv. Agron; Vol. 71, PP. 193-231.
116. **TURNER N.C.**, (1986) Adaptation to water deficit: a changing perspective. Plant Physio. Vol. 13, PP. 90-175.
117. **TURNER N.C.**, (1997) Further progress in crop water relations. Adcences in Agronomy. Vol. 58, PP. 293-338.
118. **VIDAL A ANANDO.D.**, et **ARNOUX M.**, (1981) La résistance à la sécheresse du soja. Influence d'un déficit hydrique sur la croissance et la production Agronomie. N°1, PP. 295-302.

119. **WARTINGER A., MEINZER, F.C., GRANTZ, D.A., (1990)** Daily and seasonal courses of leaf conductance and abscisic acid in the sylem sap of almond trees (*Prunus dulcis* M.) under desert conditions. *New Phytol.* Vol. 116, PP. 581-587.
121. **WOODROOF J.G., (1979)** The nuts, production processing products. Comp,Inc.westport Connecticut: Maroc. PP. 58-60.
122. **YAAQOBI A, et EL HAFID L, et HALOUI B., (2009)** Etude biologique de pistacia atlantica desf. De la région orientale du Maroc .Laboratoire de Biologie des Plantes et des Microorganismes, Département de Biologie. Faculté des sciences, Université Mohamed I, Oujda (Maroc).Rev. Biomatec. Echo. Vol. 3, N°6, 39P.
123. **YOUSFI M., NEDJEMI B., BELLAL R., BEN BERTAL., (2003)** Etude des acides gras de huile du fruit du pistachier de l'Atlas Algérienne complément aux travaux fait sur l'huile des fruits du *Pistacia atlantica* Desf par : Daneshrad, Aynehchi., 1980 et Ueeiani. PP. 10-17.
124. **ZAHRI S., HARROUNI M., (1999)** Optimisation de la reprise après transplantation chez l'arganier (*Argania spinosa* L. Skeels). First International conference on biodiversity and naturel ressource preservation. Book of abstract, Ifrane, PP.13-14.
125. **ZID E., (1982)** relation hydriques dans les feuilles de *Citrus aurantium*: Effets de l'age et de la salinité. Rev. FAC. SC. Tunis, N° 2, PP. 195-205.
126. **ZOHARY M., (1952)** Amonographical stady of the genus Pistacia. Palestine Journal Bot. J. Serie 5. PP.187-228.

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

1- Effet de concentration du PEG sur le taux de germination

Les résultats montrent un effet significatif du PEG sur la germination des graines de pistachier de l'Atlas.

Le taux de germination des graines de *Pistacia atlantica* Desf de deux provenances (Messad et d'Aïn Oussara) a été estimé vis-à-vis du déficit hydrique induit par le PEG (6000).

La figure 15 illustre la germination des graines pour les deux provenances.

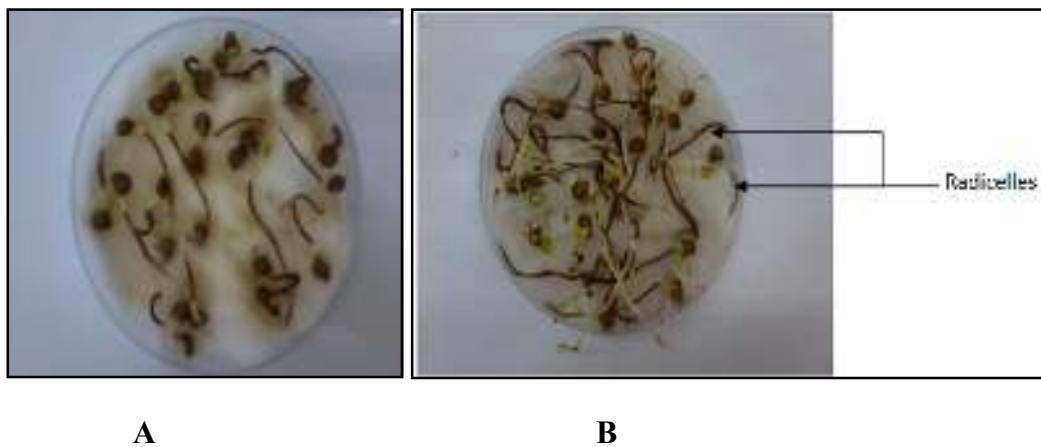


Figure 15 : Germination des graines (T1).

A : Provenance Messad

B : Provenance Aïn Oussara

Les résultats montrent un effet significatif du PEG sur la germination des graines de pistachier de l'Atlas

La figure 16 montre que la concentration 5g/l du PEG est tolérée par les graines de deux provenances puisqu'elle engendre une augmentation de taux de germination exprimé par rapport aux témoins. Il est de 53% pour le témoin et 81% pour la concentration 5g/l pour les graines provenant de Messad et de 91% pour le témoin et 98% pour la concentration 5g/l pour Aïn Oussara. Plus la concentration est élevée plus la capacité germinative chez les deux provenances est diminuée. Les taux de germination obtenu varient entre 35% pour le milieu le plus concentré de PEG pour les graines de provenance Messad et de 74% pour le milieu le plus concentré pour les graines de provenance Aïn Oussara.

IV- Résultats et discussion

L'analyse statistique a permis de déceler un effet du PEG ($P < 5\%$) sur le phénomène de germination (Annexe 3). Nous pouvons déduire que les graines d'Aïn Oussara sont plus tolérantes vis-à-vis de la contrainte hydrique par rapport aux graines de Messad (Figure 16).

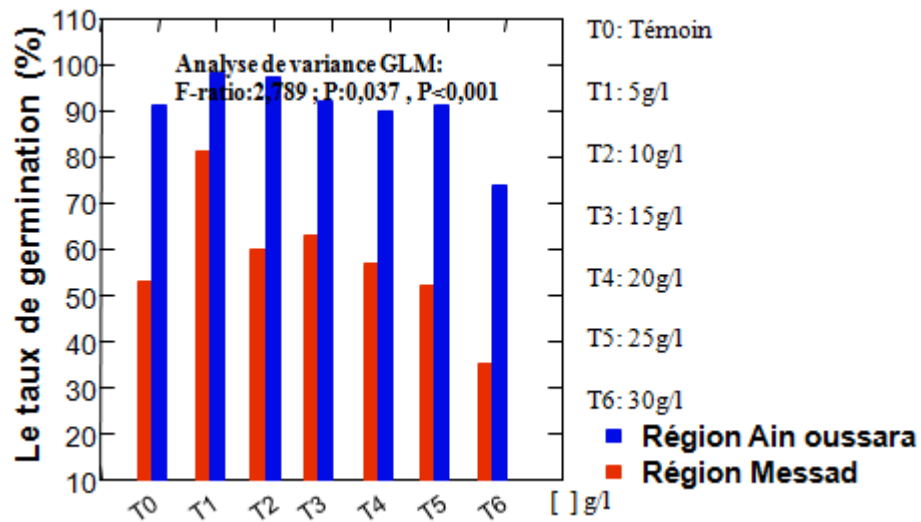


Figure 16 : Taux de germination de deux provenances

Discussion

Les différences observées au niveau de la germination des graines peuvent s'expliquer par le fait que le PEG est à l'origine de l'augmentation du milieu d'imbibition, d'où une diminution de la pénétration de l'eau vers les graines. Nous pouvons déduire que le stress hydrique sévère induit une phase de latence longue, due aux difficultés d'imbibition qui induit une faible dégradation des réserves de la graine.

BIRIEK, 1994 souligne que le PEG agit comme un agent osmotique en déshydratant les graines.

La quantité d'eau dans les graines est réduite ce qui entraîne une diminution de la pression de turgescence des cellules et une faible accumulation de la matière organique due à une moindre disponibilité des produits de réserves cotylédonaires. [**VIDAL et al., (1981), NONAMI, (1989)**].

En outre, l'augmentation de la pression osmotique du milieu externe par ajout de PEG ralentit la pénétration de l'eau vers les graines, ce qui diminue la turgescence cellulaire ainsi l'expansion des cellules radiculaires est réduite et l'émergence de la radicule est retardée. Ce phénomène entraîne la diminution de la capacité d'imbibition et un ralentissement de la vitesse de germination.

Il paraît clair que la germination des graines de *Pistacia atlantica* a été sévèrement affectée par le PEG. Ces résultats s'accordent avec les résultats de plusieurs chercheurs, notamment [CHAABANE R et al., (2001), TAZI M.R, (2003)] qui montrent que la germination des graines est influencée par une contrainte hydrique provoquée par le PEG.

2- Effet de stress hydrique sur les plantules

Nous avons mesuré des paramètres tels que la longueur des tiges et des racines, la biomasse sèche de la partie aérienne et de la partie souterraine ainsi que leurs rapports.

Les figures 17 et 18 montrent l'état des plantules à la fin de l'expérimentation.

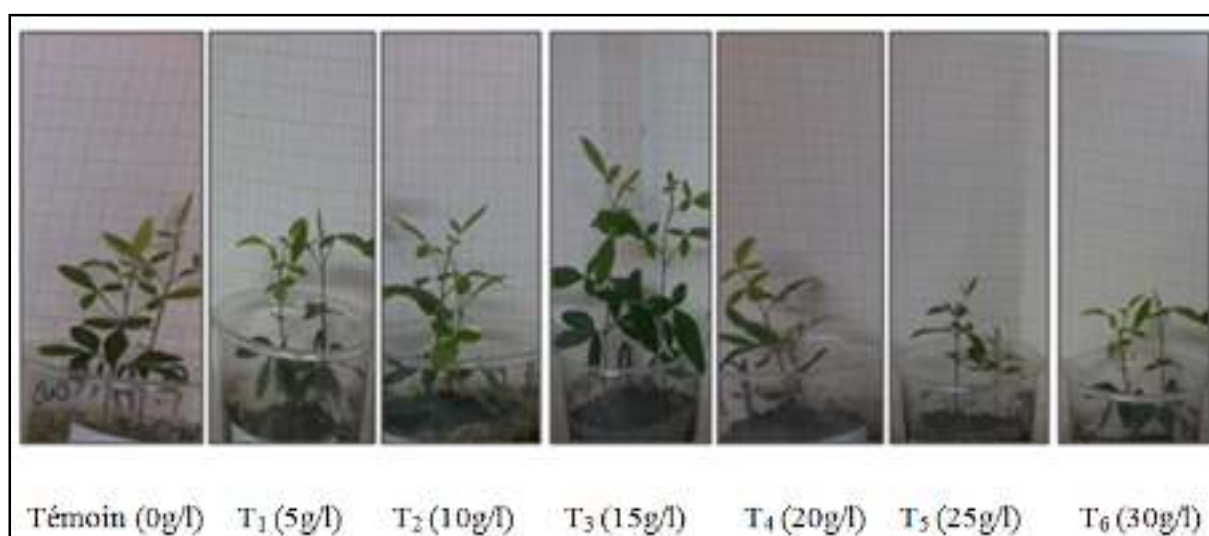


Figure 17 : Comparaison des plantules de pistachier de l'Atlas selon les traitements de PEG.

Nous remarquons que les longueurs des plantules de pistachier de l'Atlas augmentent jusqu'à une concentration 15g/l (T₃) puis diminuent jusqu'à traitement T₆ ou la concentration en PEG polyéthylène glycol atteint 30g/l.

3- Paramètres morphologiques

L'effet du stress hydrique peut se traduire, selon la stratégie adaptative de chaque espèce ou variété par des modifications morphologiques. Ces derniers affectent la partie aérienne ou souterraine.



Figure 18 : Effet de concentration en PEG sur la longueur des parties aériennes et souterraines des jeunes plantules.

L'observation de la figure 18 montre que l'effet de polyéthylène glycol (PEG) sur la croissance de la tige et de la racine est très remarquable. Il est plus marqué pour les traitements T₅ et T₆.

3-1- Longueur de la tige

La figure 19 montre que la hauteur moyenne de la tige à la fin de l'essai pour le témoin a été de 5,5 cm. La hauteur la plus longue a été de 8,33cm pour la dose 15g/l (T₃). Quand la concentration est plus élevée 30g/l (T₆) de PEG la hauteur n'est que de 2,96cm.

Le traitement des résultats par le test statistique à l'aide de l'analyse de la variance au seuil de 5% révèle que chez les plantules, le stress hydrique a provoqué un effet très hautement significatif ($P < 0,001$) sur la longueur tige (Annexe 4).

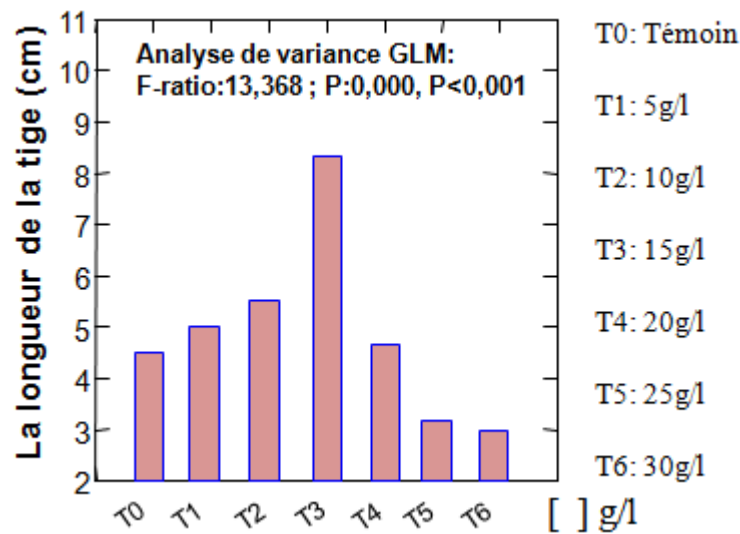


Figure 19 : Effet de concentration en PEG sur la longueur de la tige (cm).

3-2- Longueur de la racine

La figure 20 montre que l'augmentation de la concentration en PEG provoque une augmentation de la longueur de la racine jusqu'à la concentration T₃ (15g/l). Elle diminue progressivement pour atteindre 7,83 cm (T₆). Cette valeur est similaire la valeur enregistrée par le témoin (7,66 cm).

L'effet de PEG sur la longueur de la racine est significatif ($P < 5\%$) (Annexe 4). Nous pouvons conclure que sous conditions de stress hydrique, le pistachier de l'atlas s'est montré tolérant jusqu'à la dose T₃ (15g/l) ou nous enregistrons 12,66 cm.

L'augmentation de la longueur de la racine permet de puiser l'eau en profondeur. Mais au-delà de la dose T₃ (15g/l), l'effet du stress hydrique sur ce paramètre a été marqué par une diminution remarquable avoisinant 7,83 cm (T₆).

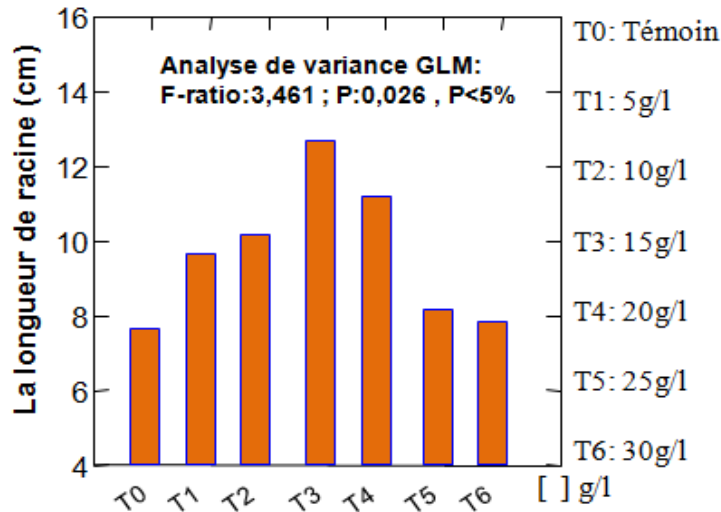


Figure 20: Effet de concentration en PEG sur la longueur de racine (cm).

3-3- Rapport longueur de la racine/tige

Le rapport de la longueur racine/tige augmente graduellement selon l'élévation de la concentration en PEG. Il y a une chute à partir de la dose de 15g/l. Par la suite nous observons une augmentation avec les concentrations les plus élevées (T₄, T₅ et T₆).

L'effet de PEG sur ce paramètre est significatif ($P < 5\%$) (Annexe 4). Le rapport de la longueur racine/tige a augmenté avec les concentrations plus élevées en PEG. Notons que la valeur enregistrée pour le témoin est de 1,68 cm. Ce rapport diminue jusqu'à 1,60 cm pour la dose 15g/l (T₃), puis il augmente graduellement pour atteindre 2,63cm pour le traitement T₆ (30g/l) (Figure 21).

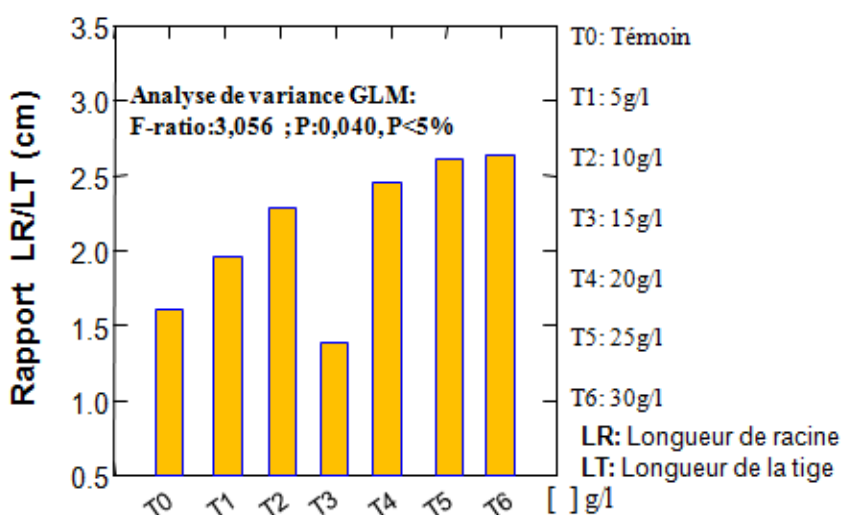


Figure 21: Effet de concentration en PEG sur le rapport de la longueur de racine sur tige.

3-4- Poids sec de la tige

La figure 22 montre que l'élévation de la concentration en PEG provoque une diminution de poids sec de la tige sauf pour les concentrations T₂ (10g/l), T₃ (15g/l) où nous enregistrons une augmentation du poids sec avec respectivement 0,058g et 0,069 g. Ce poids sec diminue ensuite pour les concentrations les plus élevés T₄ (20g/l) avec 0,037, T₅ (25g/l) avec 0,034g, et T₆ (30g/l) avec 0,028g.

L'effet de PEG sur le poids sec de la tige est significatif ($P < 5\%$) (Annexe 5), et de 0,060g dans le témoin et 0, 058g, 0,069g dans la dose 10g/l, 15g/l respectivement puis pour la concentration la plus élevée (30g/l) et de 0,028g.

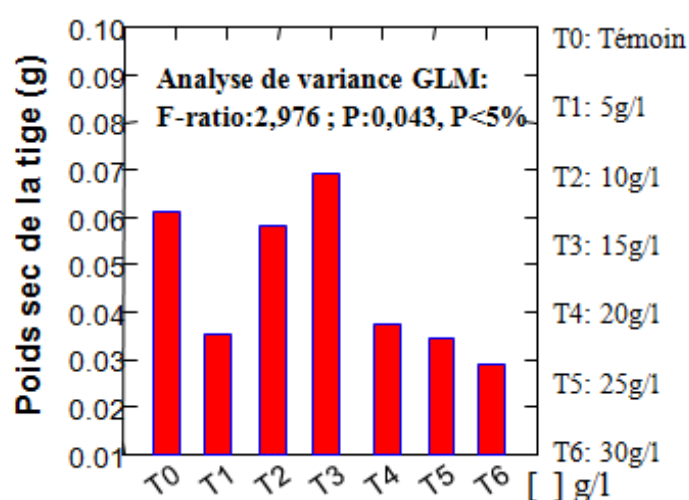


Figure 22 : Effet de concentration en PEG sur le poids sec de tige (g).

3-5- Poids sec de la racine

La figure 23, illustre les résultats moyens du poids sec de la partie souterraine. L'élévation de la concentration en PEG provoque une diminution de poids sec de tige sauf pour la concentration T₂ (10g/l) et T₃ (15g/l) avec respectivement 0,016g et 0,029g. Ce poids diminue pour les concentrations les plus élevés T₄ (20g/l), T₅ (25g/l) avec 0,014g et T₆ (30g/l) avec 0,012g.

Ceci est confirmé par l'analyse de la variance au seuil de 5% qui révèle que l'effet de PEG sur le poids sec de la racine est significatif ($P < 5\%$) (Annexe 5).

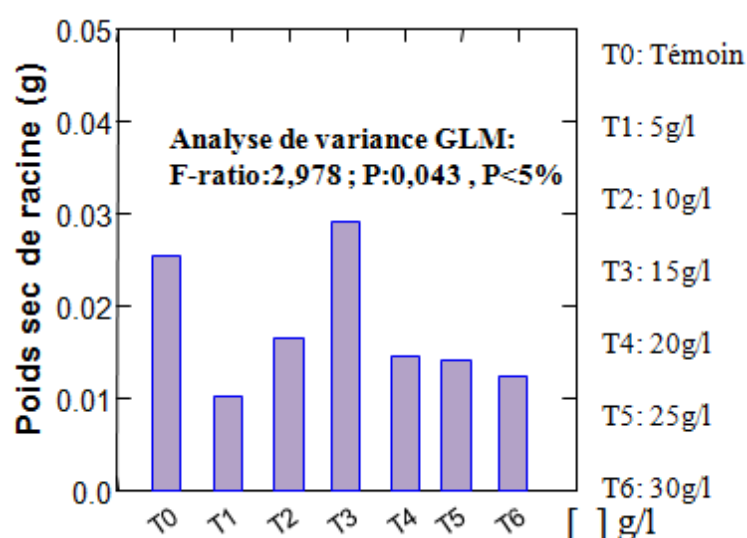


Figure 23: Effet de concentration en PEG sur le poids sec de racine (g).

3-6- Rapport poids sec de la racine/tige

Le rapport de poids sec de racine et de la tige est de 0,404g pour le témoin. Il est de 0,448g pour la concentration la plus élevée T₆ (30g/l) (Figure 24).

L'analyse de la variance au seuil de 5% révèle que l'effet de PEG n'a pas eu d'impact significatif sur le rapport des poids sec de racine / tige. Ceci est vérifié par les probabilités calculées ($P > 0,05$) (Annexe 5).

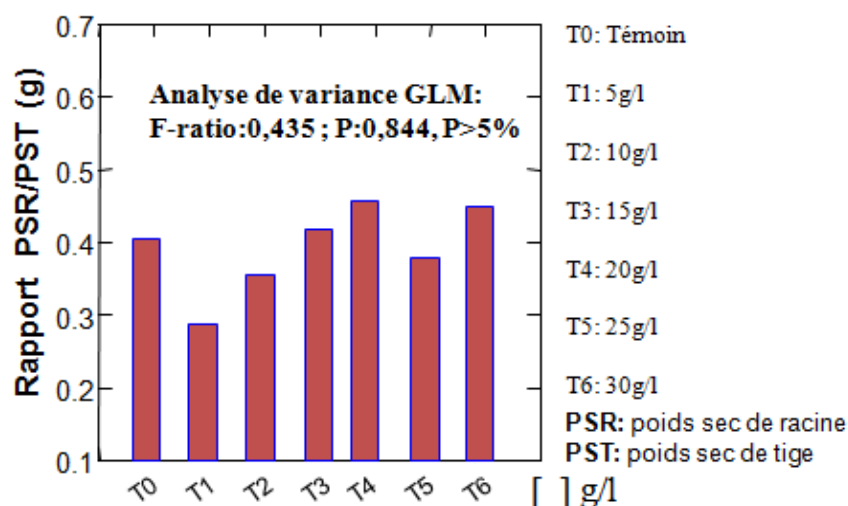


Figure 24 : Effet de concentration en PEG sur le rapport de poids sec de racine/tige (g).

3-7- Surface foliaire

La figure 25 montre que la surface foliaire augmente à partir du traitement T₃ (15g/l) où la surface foliaire est de 3,37 cm² par rapport aux traitements T₁ (5g/l) et T₂ (10g/l) avec des valeurs respectives de 2,29 cm² et 2,11 cm². Les valeurs de la surface foliaire des traitements T₄ (20g/l), T₅ (25g/l) et T₆ (30g/l) sont plus faibles. Le témoin a enregistré une valeur avoisinant 3,23 cm².

L'analyse statistique a révélé une différence significative (P<5%) (Annexe 6).

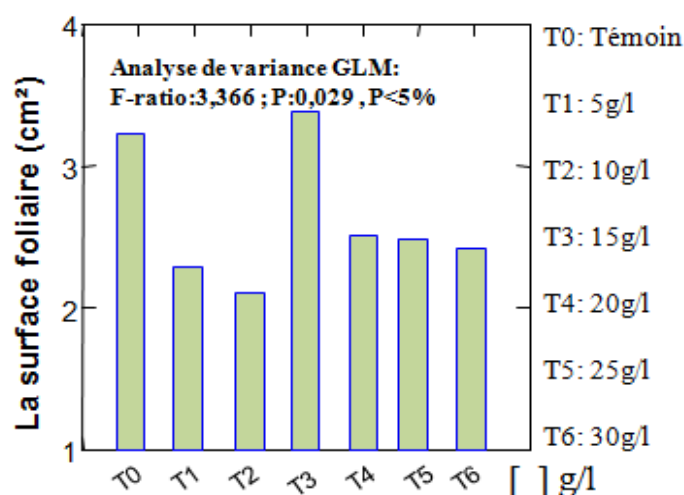


Figure 25: Effet de concentration en PEG sur la surface foliaire (cm²).

Discussion

* La tolérance de l'espèce au stress hydrique a été étudiée à travers leur capacité de développement à la présence de PEG (polyéthylène glycol). En effet, la hauteur moyenne des tiges, la longueur racinaire, la biomasse sèche aérienne et racinaire, leurs rapports ainsi et la surface foliaire ont été suivis.

* La diminution de la croissance de la partie aérienne observée chez les jeunes plantules de *Pistacia atlantica* desf. Peut s'expliquer par le fait que le polyéthylène glycol (PEG) agit par 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) a 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.

* 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 [**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 [**OPPENHEIMER (1960) in MOUGOU, (1984)**] a signalé que la superficie couverte par un seul spécimen de *retama retamest*. En ce qui concerne l'arganier, son système racinaire couvre une surface qui peut atteindre 67 m² à la sécheresse (**THIERRY, 1987**).

Les plantes adultes réagissent vis-à-vis du stress hydrique par le développement du système racinaire. Durant notre expérimentation les jeunes plantules de pistachier tendent à augmenter la longueur des racines pour les faibles concentrations de PEG (Témoin, T₁, T₂ et T₃). Elle réduit la longueur de leurs racines pour surmonter l'effet du stress hydrique provoqué par les concentrations les plus élevées de PEG (T₄, T₅ et T₆). Ces résultats comparés à ceux de (**TAZI, 2003**) montre que les jeunes plantules d'arganier tendent à réduire la longueur des racines pour surmonter l'effet du stress hydrique provoqué par le PEG, ce qui explique la reprise élevée des plantules âgées de 22 mois (**ZAHRI S et al., 1999**).

* Le rapport de la longueur racine/tige a augmenté avec les concentrations élevées de PEG (Figure 23). Ce résultat montre que la partie aérienne est plus sensible à l'effet de PEG que la partie racinaire. La diminution de la croissance de l'appareil végétatif observée chez les

IV- Résultats et discussion

jeunes plantules de pistachier s'expliquer par le fait que le polyéthylène glycol agit par 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. Des effets similaires ont été remarqués sur la croissance de l'appareil végétatif chez les plantules d'arganier du sud-ouest du Maroc soumises à un stress hydrique en plein champ **HARROUNI et al., (1995)**. Les mêmes résultats sont aussi obtenus sur la même espèce par [**KAABOUS (1992) in HARROUNI et al., (1995)** Selon **THAKUR et RAI THAKUR, (1982)**], 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.

* Il est connu que la croissance est liée aux composantes de la production et du rendement. Au niveau de la production des biomasses aérienne et racinaire, l'analyse statistique a révélé un effet significatif de PEG ($p < 5\%$) (Annexe 5). Ainsi, les concentrations élevées du polyéthylène glycol entraînent une diminution du poids sec des parties aérienne et racinaire. D'après ces résultats, le rapport entre le poids sec racinaire et celui de la partie aérienne pour le témoin est de 0,404g alors que pour le milieu le plus concentré (T_6), il est de 0,448g. L'analyse statistique a révélé un effet non significatif de PEG ($p > 5\%$) (Annexe 5).

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 des stress abiotiques sur la physiologie 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 seront irréversibles. La croissance est inversement corrélée à la résistance au stress salin d'une espèce/variété [**ZHU, (2001) in BOIS, (2005)**]. Nos résultats montrent que le pistachier de l'Atlas résiste au stress hydrique en tolérant une concentration faible de PEG dans le milieu allant de 5 à 15g/l. L'augmentation de PEG entraîne une diminution de la croissance aérienne et racinaire. Ces résultats comparés à l'étude de l'augmentation de la salinité entraînent chez *M. poguei* et *V. unguiculata* une baisse de la biomasse sèche à 100 mM de NaCl. Chez *P. adenanthus*, la production de matière sèche foliaire est peu affectée par la salinité. La tolérance de *V. unguiculata*, *M. poguei*, et *P. adenanthus* vis-à-vis du sel permet

d'envisager leur utilisation sur des terres marginales plus ou moins salées (TAFFOUO et *al.*, 2004).

* La surface foliaire est un déterminisme important de la transpiration. Une des premières réactions des plantes au déficit hydrique est de réduire la surface foliaire (LEBON et *al.*, 2004). Le développement végétatif sous conditions limitantes d'alimentation hydrique est fortement perturbé (FERRYRA et *al.*, 2004), nous enregistrons principalement une diminution importante de la taille et 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 (LEBON et *al.*, 2004).

4- Paramètres physiologiques

4-1- Teneur Relative en Eau (TRE)

La variation de la teneur en eau (TRE) ou Relative Water Content (RWC) illustrée dans la figure 26, montre que le TRE augmente progressivement en fonction des doses en PEG appliquées. Les valeurs enregistrées varient entre 75,52% pour les plantules arrosées avec l'eau distillée et 95,93% chez les plantules stressées avec la dose 15g/l. Au delà de traitement T₃, la teneur relative en eau a subi une diminution sous l'effet de doses élevées en PEG (T₄), (T₅), et (T₆), les valeurs varient entre 87,02% et 80,44%.

L'analyse statistique montre que l'effet des concentrations du PEG est très hautement significatif ($P < 0,001$) sur la teneur relative en eau (Annexe 7).

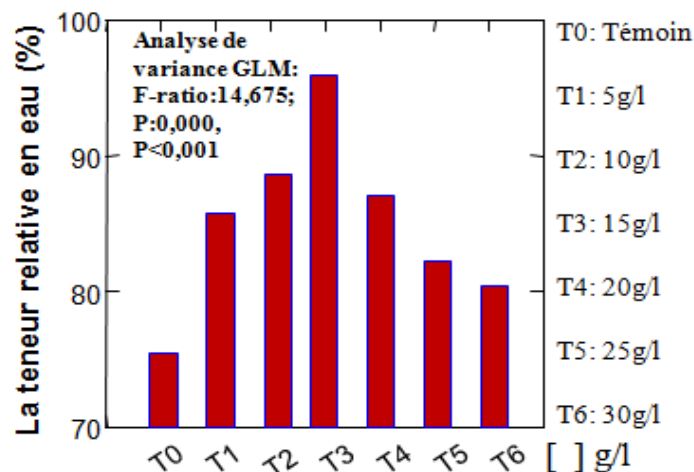


Figure 26 : Effet de concentration en PEG sur la teneur relative en eau (%).

Discussion

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., (2000)**. **CLARK et MAC-CAIG, (1982)** attirent l'attention sur l'utilisation de la teneur relative en eau comme indicateur de l'état hydrique de la plante sous stress.

L'analyse de la teneur relative en eau (RWC), 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**).

Lors de notre expérimentation, les résultats obtenus, montrent que l'application de concentrations de PEG influent d'une manière positive et sont hautement significative sur la teneur relative en eau pour les doses T₂, T₃, et T₄. La teneur en eau des feuilles de *Pistacia atlantica* Desf est élevée pour les faibles concentrations de PEG polyéthylène glycol.

MATIN et al., (1989) in **NOURI, (2002)** montrent que les génotypes qui maintiennent une (TRE) élevée en présence d'un stress hydrique sont des génotypes tolérants. Ce phénomène est probablement dû à une osmorégulation active, suite à la mise en place d'un mécanisme de tolérance au stress hydrique à savoir l'ajustement osmotique. Par contre le (TRE) diminue avec les concentrations les plus élevées de PEG. Ces résultats confirment ceux obtenus par **KADDOUR HOCINE, (2008)** lors de l'application de stress salin chez le Pistachier de l'Atlas. Il note que les concentrations croissantes de NaCl influent d'une manière positive sur l'augmentation de (TRE).

Par contre la TRE diminue avec les concentrations plus élevées. L'application des concentrations supérieures à 15g/l influe d'une manière négative sur la TRE. Ces résultats corroborent avec les travaux de plusieurs auteurs sur plusieurs espèces. Les travaux de recherche sur le pistachier (*Pistacia atlantica*) par **KADDOUR HOCINE, (2008)**. Ceux de l'arganier (*Argania spinosa*) par [**BERKA, (2001)** et **TEMAGOULT, (2009)**] a effectué des travaux similaires sur le tournesol (*Helianthus annuus* L).

4-2- Teneur en chlorophylle

4-2- Teneur en chlorophylle (a)

La teneur en chlorophylle (a) augmente progressivement en fonction des doses en PEG appliquées (Figure 27). Les valeurs enregistrées varient entre 2,23 mg/g MF pour les plantules arrosées avec l'eau distillée et 3,77 mg/g MF chez les plantules stressées avec la dose 15g/l. Au delà de traitement (T₃), la teneur en chlorophylle (a) subi une diminution sous l'effet de doses élevées en PEG (T₄), (T₅) et (T₆), où les valeurs oxillent 3,40 et 2,68 mg/g MF.

L'analyse statistique montre que l'effet des concentrations du PEG est très hautement significatif ($P < 0,001$) sur la teneur en chlorophylle (a) (Annexe 8).

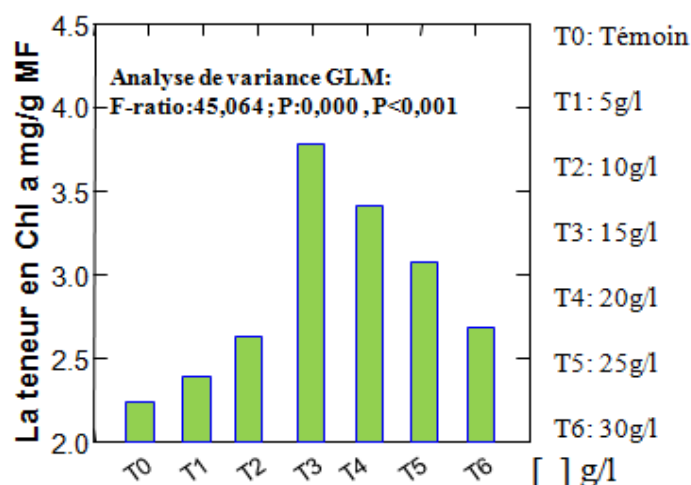


Figure 27: Effet de concentration en PEG sur la teneur de la chlorophylle (a) mg/g MF.

4-2-2- Teneur en chlorophylle (b)

La teneur en chlorophylle (b) augmente progressivement en fonction des doses en PEG appliquées (Figure 28). Les valeurs enregistrées varient entre 5,48 mg/g MF pour les plantules arrosées avec l'eau distillée et 11,13 mg/g MF chez les plantules stressées avec la dose 15g/l. Au delà de traitement (T₃), la teneur en chlorophylle (b) subi une diminution sous l'effet de doses élevées en PEG (T₄), (T₅), et (T₆) avec des valeurs varient de 3 à 5,26 mg/g MF.

L'analyse statistique montre que l'effet des concentrations du PEG est très hautement significatif ($P < 0,001$) sur la teneur en chlorophylle (b) (Annexe 8).

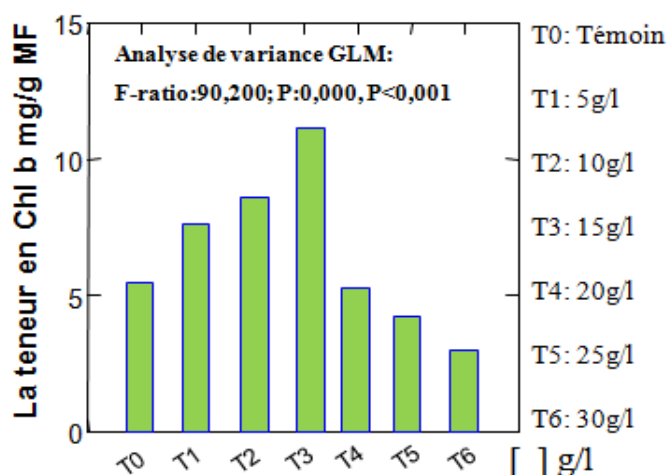


Figure 28 : Effet de concentration en PEG sur la teneur de la chlorophylle (b) mg/g MF.

4-2-3- Teneur en chlorophylle (c)

La teneur en chlorophylle (c) augmente progressivement en fonction des doses en PEG appliquées (Figure 29). Les valeurs enregistrées varient entre 166,16 mg/g MF pour les plantules arrosées avec l'eau distillée et 392,99 mg/g MF chez les plantules stressées avec la dose 15g/l. Au delà de traitement (T₃), la teneur en chlorophylle (c) subit une diminution sous l'effet de doses élevées en PEG (T₄), (T₅), et (T₆). Les valeurs enregistrées varient entre 142,04 et 238,77 mg/g MF.

L'analyse statistique montre que l'effet des concentrations du PEG est très hautement significatif ($P < 0,001$) sur la teneur en chlorophylle (c) (Annexe 8).

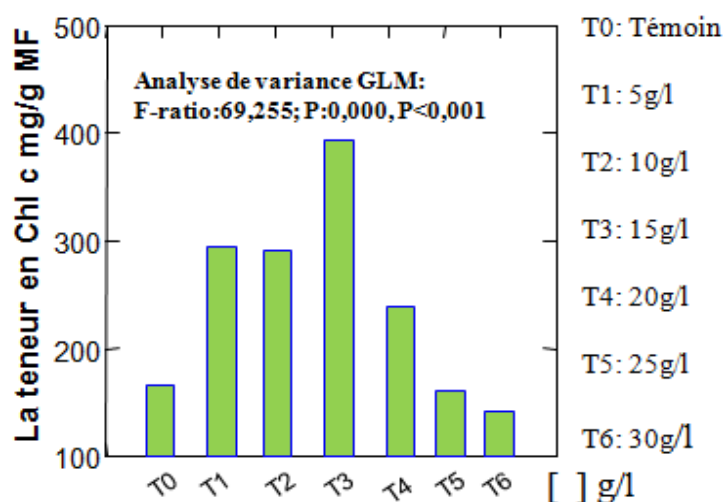


Figure 29 : Effet de concentration en PEG sur la teneur de la chlorophylle (c) mg/g MF.

Discussion

L'augmentation des teneurs en chlorophylle totale 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 chlorophylle 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).

Pour limiter les pertes en eau par évaporation et aussi l'augmentation de la résistance à l'entrée du CO₂ atmosphérique nécessaire à la photosynthèse, l'économie de l'eau se traduit par une turgescence relative moins affectée par le stress conduisant à une dilution de la chlorophylle (SLAYTER, 1974).

5- Paramètres biochimique

5-1- Teneur en proline

Les résultats de la figure 30 montrent que la teneur en proline augmente avec l'augmentation des concentrations de PEG.

Les teneurs en proline enregistrés varient de 0,1475 mg/g MF pour le témoin (T₀) jusqu'à 0,831(T₆) mg/g MF pour la concentration la plus élevée (30g/l). L'analyse statistique des résultats obtenus révèle une différence significative (P<5%) (Annexe 9).

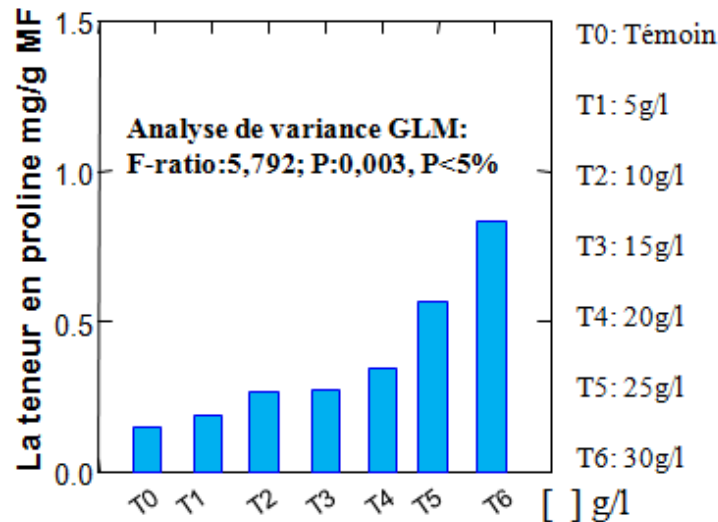


Figure 30 : Effet de concentration en PEG sur la teneur en proline.

Discussion

TAHRI et *al.*, (1997) montrent que l'augmentation de la teneur en proline foliaire sous l'effet du stress est suivie par un abaissement dans les teneurs en pigments chlorophylliens totaux (Chlorophylles a et b). Les résultats de TAHRI et *al.*, (1997) révèlent une certaine proportionnalité, mais inverse, entre les teneurs en proline accumulées et les teneurs en pigments chlorophylliens perdus. Ainsi, la variété qui accumule plus de proline est 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, et 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 (ELIANE 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 osmoticum a été rapporté par plusieurs auteurs [STEWART, (1974), et KRAMER, (1983)].

CONCLUSION

Le stress hydrique est un problème dans beaucoup d'environnements arides et semi-arides, qui affecte la croissance et le développement des plantes.

Pour cela, nous avons déterminé de façon préliminaire les principales caractéristiques de la germination des graines et du développement des plantules de pistachier de l'Atlas pour les deux provenances (Messad et Aïn Oussara).

Au stade germinatif les graines provenant de Messad et Aïn Oussara présentent une différence au niveau du taux de germination. Ce dernier est important chez le témoin (0g/l) avec 53% (Messad) et 91% (Aïn Oussara) et T1 (5g/l) avec 98% et 81% respectivement pour les provenances Aïn Oussara et Messad.

Le stade germinatif est le premier stade affecté par le déficit hydrique.

Au stade plantule la réponse du pistachier de l'Atlas à la croissance et le développement de l'effet de différentes concentrations de PEG a révélé une variabilité intra spécifique par rapport à la tolérance au stress hydrique. Cette variabilité concerne en premier temps la croissance et le rendement estimés par la mesure de quelques paramètres biométriques, celle-ci étant complétée par le dosage de chlorophylle et proline.

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

La proline a été significativement accumulée en fonction du stress hydrique elle est de 0,831 $\mu\text{g/g}$ MF à 30g/l à comparé au témoin 0,147g/l.

Pour conclure, le pistachier de l'Atlas est parmi les plantes qui résistent au déficit hydrique.

Nous assistons à une augmentation de la croissance au traitement 15 g/l, ceci nous permet de constater que l'espèce résiste bien jusqu'à la concentration de 15g/l de PEG.

Notons que les valeurs de la longueur de la racine pour le témoin (T0) et de 7,66 cm comparé au T3 (15g/l) ayant une valeur importante de 12.66 cm. Les mêmes observations ont été constatées pour la longueur de la tige avec 4,5 cm pour le T0 comparée au T3 avec 8,33 cm.

Au-delà de cette concentration, une diminution de la croissance est constatée jusqu'à la concentration 30g/l avec des valeurs similaires aux témoins et parfois inférieure. Elle est de 7,83cm pour la longueur de la racine et 2,96 cm pour la longueur de tige (T6).

Dans le cadre d'un travail futur, il serait souhaitable d'augmenter les doses de PEG et la période de stress, pour déceler plus des symptômes de dépérissement notamment le dessèchement de l'espèce pistachier.

Perspectives

Au terme de cette étude, nous pouvons conclure que le stress hydrique constitue un facteur limitant de croissance et de tolérance des plantules de *Pistacia atlantica*. Ceci est reflété par les changements physiologiques et morphologiques qui se sont produits lors de l'expérimentation. Il est donc intéressant de prospecter les possibilités de sélection de certaines populations pour une meilleure adaptation au stress 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 hydrique.

Annexe 5 : Analyse de la variance : Paramètres morphologiques (poids et rapports)

| variable | Moyenne et écart type | | | | | | |
|--|-----------------------|-------------------|------------------|-------------------|-----------------------|----------------------|---------------------------|
| | Témoin | 5g/l | 10g/l | 15g/l | 20g/l | 25g/l | 30g/l |
| Poids sec de racine (g) S | 0,025± 0,011 | 0,0101± 0,0027 | 0,0165± 0,004 | 0,0290± 0,009 | 0,0145 ± 0,0032 | 0,014 ± 0,009 | 0,012 4± 0,001 1 |
| Poids sec de tige (g) S | 0,060± 0,014 | 0,035± 0,0002 | 0,058± 0,029 | 0,0690± 0,0125 | 0,0373± 0,0160 | 0,034 ± 0,0159 | 0,007± 0,028 |
| Rapport poids sec de racine/ tige (g) NS | 0,404± 0,094 | 0,288± 0,080 | 0,356± 0,233 | 0,417±0,0 802 | 0,457± 0,241 | 0,378 ± 0,137 | 0,448± 0,101 |

Annexe 6 : Analyse de la variance : Surface foliaire

| variable | Moyenne et écart type | | | | | | |
|---------------------------------------|-----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | Témoin | 5g/l | 10g/l | 15g/l | 20g/l | 25g/l | 30g/l |
| Surface foliaire (cm ²) S | 3,23± 0,085 | 2,29± 0,655 | 2,11± 0,523 | 3,37± 4,350 | 2,50± 0,281 | 2,47± 0,483 | 2,41± 0,420 |

Annexe 7 : Analyse de la variance : Paramètre hydrique (teneur relative en eau RWC).

| variable | Moyenne et écart type | | | | | | |
|-------------------------------|-----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | Témoin | 5g/l | 10g/l | 15g/l | 20g/l | 25g/l | 30g/l |
| Teneur relative en eau(%) THS | 75,52± 2,10 | 85,71± 2,01 | 88,62± 0,81 | 95,93± 1,69 | 87,02± 1,48 | 82,28± 4,99 | 80,44± 4,99 |

Annexe 8 : Analyse de la variance : Teneur des chlorophylles (a, b et c)

| variable | Moyenne et écart type | | | | | | | |
|---|-----------------------|-----------------|---------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------------|-----------------|
| | PEG | Témoin | 5g/l | 10g/l | 15g/l | 20g/l | 25g/l | 30g/l |
| teneur de chlorophylle (a) (mg.g ⁻¹ MS) THS | | 2,23± 0,05 | 2,39± 0,08 | 2,63± 0,06 | 3,77± 0,24 | 3,40± 0,09 | 3,07± 0,09 | 2,68± 0,23 |
| teneur de chlorophylle (b) (mg.g ⁻¹ MS) THS | | 5,48± 0,95 | 7,60± 0,300 7 | 8,57± 0,78 | 11,13± 0,26 | 5,26± 0,32 | 4,21± 0,09 | 3,005± 0,12 |
| teneur de chlorophylle (c) (mg.g ⁻¹ MS) THS | | 166,16± 0,95 | 293,5 1± 0,300 7 | 291,25± 0,78 | 392,99± 0,26 | 238,77± 0,32 | 161,20 ± 0,09 | 142,04± 0,12 |

Annexe 9 : Analyse de la variance : Proline.

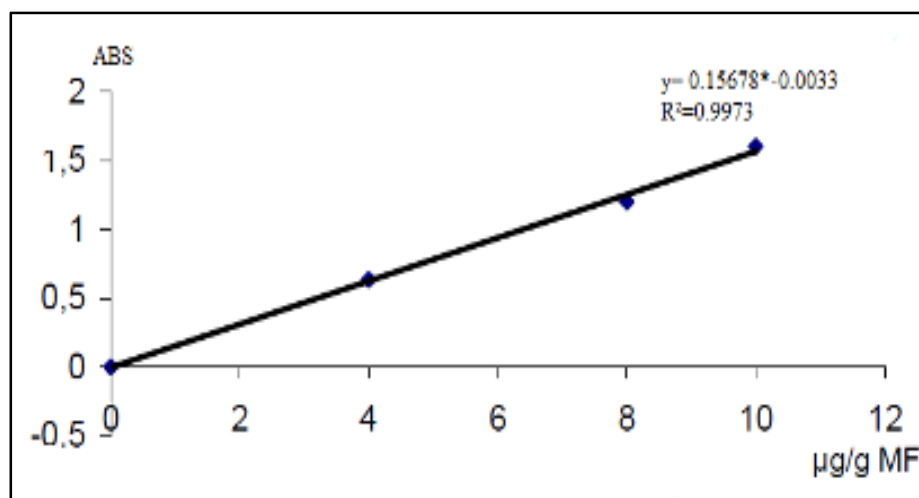
| variable | Moyenne et écart type | | | | | | | |
|------------------------|-----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | PEG | Témoin | 5g/l | 10g/l | 15g/l | 20g/l | 25g/l | 30g/l |
| Proline (mg/g MF) S | | 0,147± 0,130 | 0,190±0,1 42 | 0,267±0, 240 | 0,273±0, 276 | 0,344±0, 343 | 0,566± 0,095 | 0,831± 0,505 |

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 : Taux de germination

| variable | Moyenne et écart type | | | | | | |
|---|-----------------------|-----------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
| | PEG | Témoin | 5g/l | 10g/l | 15g/l | 20g/l | 25g/l |
| taux de germination d'Aïn oussara (%) S | 91± 8,86 | 98±4 | 97±2 | 92± 11. 31 | 90± 13,26 | 91± 8,86 | 74± 12 |
| taux de germination Messad (%) S | 53± 8,86 | 81± 10 | 60± 15,31 | 63± 20,49 | 57± 15,09 | 52± 16,97 | 35± 17,08 |

Annexe 4 : Analyse de la variance : Paramètres morphologiques (longueurs et rapports)

| variable | Moyenne et écart type | | | | | | |
|--------------------------------------|-----------------------|---------------|----------------|----------------|----------------|---------------|---------------|
| | PEG | Témoin | 5g/l | 10g/l | 15g/l | 20g/l | 25g/l |
| Longueur de racine (cm) S | 7, 66± 3,05 | 9,66± 1,52 | 10,16± 0,76 | 12,66± 2,08 | 11,16± 1,04 | 8,16± 1,04 | 7,83± 1,60 |
| Longueur de tige (cm) THS | 4,5±0,5 | 5±0,5 | 5,16± 1,04 | 8, 33± 1,75 | 4,66± 1,04 | 3,16± 0,28 | 2,96± 0,05 |
| Rapport longueur racine/ tige (cm) S | 1,68± 0,54 | 1,95± 0,43 | 2±0,31 | 1,60± 0,61 | 2,44± 0,63 | 2,61± 0,53 | 2,63± 0,49 |