

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

-----  
**Université Blida-1-**  
**Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie**  
**Département de Biotechnologie**  
-----



## MEMOIRE

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

**Thème :**

**Etude de la levée de dormance par scarification chimique et  
l'effet du stress hydrique sur le comportement des plantules  
de *Pistacia vera* (L.)**

Présenté par: **DJEBBAR MOUNA**

**Devant le jury :**

<b>CHAOUCH F/Z</b>	<b>MCA</b>	<b>USD Blida 1</b>	<b>Présidente</b>
<b>CHAOUIA C</b>	<b>MCA</b>	<b>USD Blida 1</b>	<b>Promotrice</b>
<b>OUKARA F/Z</b>	<b>Attaché de recherche</b>	<b>INRF</b>	<b>Co- promotrice</b>
<b>BRADEA M/S</b>	<b>MCA</b>	<b>USDB</b>	<b>Examinatrice</b>
<b>MOUAS Y</b>	<b>Attaché de recherche</b>	<b>USDB</b>	<b>Examinatrice</b>

**Blida, 2013-2014**

## **REMERCIEMENTS**

*Je remercie en premier lieu 'Dieu' qui m'a donné la santé et le courage tout au long de ce travail.*

*Je tiens à remercier tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à l'aboutissement de ce travail, et en particulier :*

*Ma promotrice : M<sup>me</sup> CHAOUIA C., qui m'a guidé et encadré durant toute la durée du travail. Ainsi que, pour sa contribution positive, et ses conseils judicieux.*

*Ma co-promotrice : M<sup>me</sup> OUKARA F/Z., qui a accepté de codiriger ce travail pour sa disponibilité malgré ses occupations.*

*Je remercie vivement M<sup>me</sup> CHAOUCH F/Z. qui ma fait l'honneur de présider le jury. Je remercie aussi M<sup>me</sup> BRADEA M/S. et M<sup>me</sup> MOUAS Y. pour avoir accepté d'examiner ce travail.*

*J'exprime également ma reconnaissance à tous l'équipe de recherche au laboratoire d'Amélioration des plantes au département de biotechnologies, université de Blida ; M<sup>elle</sup> ZAKIA et M<sup>me</sup> GHANIA pour leurs conseils et leurs aides.*

*Un dernier remerciement pour mes très chers parents, ma sœur, mon frère Aissa qui m'ont constamment encouragés, merci infiniment pour leurs tendresse, leurs conseils et leur prières pour moi.*

## *Dédicaces*

*Ce modeste mémoire est dédié :*

*À mes très chers parents plus précisément l'être le plus cher au monde,  
ma source de tendresse qui ne cesse de m'encourager et de me soutenir :  
Ma Mère Sabah.*

*À ma sœur Amina et mes frères ainsi qu'à toute ma famille.*

*À mes chères amies HADJER, AHLAM, NABILA, NASSIRA, IMANE,  
AMEL, FATIMA, ZINEB, LINDA, AMINA et EM SALAMA*

*À toutes mes amies.*

*À toute la promotion 2014/2015.*

*MOUNA.*

## Sommaire

INTRODUCTION.....	3
-------------------	---

### CHAPITRE I : GENERALITES SUR LE PISTACHIER VRAI

1. Origine du pistachier vrai.....	3
2. Répartition géographique du pistachier vrai.....	4
3. Intérêts et l'utilisation de l'espèce.....	7
4. Classification botanique de Pistachier fruitier.....	8
5. Description de la plante.....	9
6. Dormance et besoins en froids.....	11
7. Caractéristiques pédoclimatiques du Pistachier.....	12
8. Récolte et rendement .....	13

### CHAPITRE II : MULTIPLICATION DE PISTACHIER

1. Multiplication par semis.....	14
2. Multiplication par greffage .....	15
3. Multiplication par culture in vitro.....	16

### CHAPITRE III : STRESS HYDRIQUE

1. Rôle de l'eau dans la plante.....	16
2. Effet du stress hydrique sur le développement des plantes.....	17
3. Mécanisme d'adaptation des plantes au stress hydrique.....	20
3.1. Adaptations morphologiques.....	21
3.2. Adaptations physiologiques.....	22
3.3. Adaptation biochimique.....	24

### CHAPITRE III : MATERIEL ET METHODES

1-Objectif de travail.....	28
2-Site d'expérimentation.....	28
3-Matériel végétal et conditions de culture.....	28

4. Levée de dormance des graines du pistachier vrai.....	28
4.1. Test de germination.....	28
4.2. Dispositif expérimental.....	29
4.3. Paramètres étudiés.....	29
4.3.1. Taux de germination.....	29
4.3.2. Vitesse de germination.....	30
4.3.3 Hauteur des tiges.....	30
5. Stress hydrique.....	30
5.1. Préparation des graines et la mise en germination.....	31
5.2. Stress hydrique au stade plantules.....	31
5.3. Dispositif expérimental.....	31
5.4. Paramètres étudiés.....	32
5.4.1. Mesure de l'humidité du sol.....	32
5.4.2. Paramètres morphologiques.....	32
5.4.3. Paramètres physiologiques.....	33
5.4.4. Paramètres biochimiques.....	34
6. Analyse statistique.....	37

#### CHAPITRE IV: RESULTATS ET DISCUSSION

1. Essais de germination sur les graines du pistachier vrai.....	38
1.1. Taux de germination.....	38
1.2. Vitesse de germination.....	39
1.3. Hauteur des tiges après semis.....	39
2. Stress hydrique.....	41
2.1. Effet du stress hydrique sur l'humidité du sol.....	41
2.2. Effet du stress hydrique sur les paramètres morphologiques.....	42
2.3. Effet du stress hydrique sur les paramètres physiologiques.....	49
2.4. Effet du stress hydrique sur les paramètres biochimique.....	54

CONCLUSION .....	60
Annexes.....	62

L'étude du comportement germinatif après scarification chimique par l'acide sulfurique et le comportement morpho-physiologique et biochimique de plantules du pistachier vrai *Pistacia vera* (L.) en conditions difficiles (stress hydrique) nous a révélé que selon le traitement les plantules réagissaient différemment.

En effet, au stade germinatif, les graines du pistachier vrai *Pistacia vera* (L.) trempées dans l'acide sulfurique présentent une différence au niveau du taux de germination. Le taux de germinations a augmenté respectivement chez les plantules traitées T<sub>1</sub> (15 minutes de trempage), T<sub>2</sub> (30 minutes de trempage) et T<sub>3</sub> (60 minutes de trempage) avec des valeurs moyennes respectives estimées à 69%, 57% et 63%. Ces valeurs sont supérieures où témoin ou nous enregistrons uniquement 46%, les résultats de la hauteur des tiges après repiquage montrent que la valeur la plus élevée est notée chez les plantules traitées après 30 mn de trempage avec H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. La valeur la plus faible est notée chez les plantules de T<sub>0</sub> (semis direct).

L'étude du comportement morpho-physiologique et biochimique des plantules du pistachier vrai *Pistacia vera* (L.) en conditions de stress hydrique a montré une grande résistance à la sécheresse après 21 jours d'arrêt d'arrosage elle se manifeste par le développement d'un appareil aérien et racinaire moins important atteignant respectivement 16 et 16.5 cm.

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 de 1.9 , 0.8 et 200 µg/g MF pour le traitement (T3) comparés aux valeurs enregistrées pour le témoin qui n'enregistre que avec 0.2 , 0.3 et 125,99 µg/g MF.

L'accumulation des osmorégulateurs, en l'occurrence la proline des feuilles a augmenté en fonction de l'augmentation de l'intensité du stress. Elle est de 0.33µg/g MF pour le témoin et de 0.9µg/g MF pour les plantules stressées pendant 21 jours. La teneur en sucres solubles est stimulée après 5 jours et augmente en fonction de l'intensité de stress hydrique. La valeur enregistrée est d'une moyenne de 2.24µg/g MF pour les plantules stressées après 15 jours d'arrêt d'arrosage.

**Mots clés :** *Pistacia vera* L., Germination, scarification, Stress hydrique, chlorophylles, proline.

The study of the germ behavior after chemical scarification with sulfuric acid and morpho- physiological and biochemical behavior seedlings real pistachio (*Pistacia vera L.*) in difficult conditions ( water stress ) showed that the treatment according reacted seedlings differently .

Indeed, at the stage germination, the seeds of true pistachio (*Pistacia vera L.*) soaked in sulfuric acid, show a difference in the germination rate. The treated respectively germination rate increased in seedlings T1 (soaking 15minutes), T2 (soaking 30minutes) and T3 (soaking 60minutes) with respective average values estimated at 69%, 57% and 63% of these values is greater than the witness or we register T0 46%, the results of stem height after transplant show that the highest value is recorded in seedlings of T2 and the most fable value is noted in T0 seedlings.

The study of the morpho-physiological and biochemical behavior of seedlings of the true pistachio (*Pistacia vera L.*) in water stress conditions showed great resistance to drought after 21 days of watering stop it expressed by the development of a smaller root system and air reaching respectively 16 and 16.5 cm. The study of the growth of seedlings was complemented by the assay of chlorophyll. This parameter reflects the photosynthetic activity with chlorophylls rate (a), (b) and (c) respectively of 1.9, 0.8 and 200 mg / g for the treatment MF (T3) compared with the values recorded for the control with 0.2, 0.3 and 125.99 mg / g MF.

The accumulation osmo, in the leaves of proline occurrence has increased according to the increase of stress intensity. It is 0.33 $\mu$ g / g MF for the control and 0.9 $\mu$ g / g MF for stressed seedlings for 21 days. The soluble sugar content is stimulated after 5 days and increased depending on the water stress intensity. The recorded value is an average of 2.24 $\mu$ g / g MF for stressed seedlings after 15 days of watering stop.

**Keywords:** *Pistacia vera L.*, germination, scarification, water stress, chlorophyll, proline.



إن دراسة السلوك الانبثاقى بعد البزغ الكيمياءى بواسطة حمض الكبريت والسلوك المرفوفيزيولوجى والبوكيمياءى لشتلات الفستق الحلبى فى ظروف صعبة (الإجهاد المائى) أظهرت لنا أن الشتلات تجاوبت بطرق مختلفة حسب العلاج المستعمل.

بالنظر إلى المرحلة الانبثاقية، بذور الفستق الحلبى المنقوعة فى حمض الكبريت، بينت اختلاف فى مستوى الانبثاق.

نسبة الانبثاق تتزايد على التوالى عند الشتلات المنقوعة لمدة 15 دقيقة، المنقوعة لمدة 30 دقيقة والمنقوعة لمدة 60 دقيقة مع قيم متوسطة والمقدرة لكل واحدة 69%، 57% و63%.

وتعتبر هذه القيم مرتفعة بالنسبة للشاهد حيث سجلنا 46%. نتائج طول السيقان بعد النقلة بينت بأن القيمة المرتفعة سجلت عند الشتلات المغموسة لمدة 30 دقيقة فى حمض الكبريت وأن أصغر قيمة سجلت عند الشاهد.

أظهرت دراسة السلوك المرفوفيزيولوجى والبوكيمياءى لشتلات الفستق الحلبى تحت ظروف الإجهاد المائى مقاومة كبيرة ضد الجفاف بعد 21 يوم من التوقف عن الري بتطوير القسم الهوائى والجذرى والذى كان ضئيلاً حيث لامست 16 و16.5 سم.

أكملت دراسة نمو الشتلات بتراكيز اليخضور هذا المعيار يعكس نشاط التركيب الضوئى مع النسب اليخضورية أ،ب،ج بالترتيب 1.9،0.8 و 200 (ميكروغرام/غ مادة طازجة)، بالنسبة للشتلات المجهدة مدة 21 يوم المقارنة مع القيم المسجلة بالنسبة للشاهد 0.3،0.2 و 126 (ميكروغرام/غ مادة طازجة).

جمع المنظمات الأسموزية للبرولين فى الأوراق أدت إلى حدوث تزايد وفقاً لزيادة كثافة الإجهاد من 0.33 (ميكروغرام/غ مادة طازجة) للشاهد و0.9 (ميكروغرام/غ مادة طازجة) للشتلات المجهدة لمدة 21 يوم.

محتوى السكر المذاب حفز بعد 5 أيام من وقف الري و ارتفع بدلالة قوة الإجهاد المائى، القيمة المتوسطة المسجلة هي 2.24 (ميكروغرام/غ مادة طازجة) للنباتات المجهدة بعد 15 يوم من وقف الري.

الكلمات المفتاحية: الفستق الحلبى، الانبثاق، البزغ، الإجهاد المائى، اليخضور، البرولين.

## **LISTE DES ABREVIATIONS**

**EAC** : Exploitation agricole collective.

**MF** : matière fraîche.

**ITAFV** : Institut Technique des Arbres Fruitiers et de la Vigne.

**RWC** : relative water content.

**TRE** : teneur relative en eau.

<b>Figure 1:</b> Arbre de <i>Pistacia vera</i> L. (+1000 ans).....	2
<b>Figure 2 :</b> Carte des zones potentielles du pistachier fruitier.....	6
<b>Figure 3 :</b> Feuilles composées de <i>Pistacia vera</i> L.....	9
<b>Figure 4:</b> Fruits immatures de pistachier fruitier.....	10
<b>Figure 5 :</b> Graines de pistachier vrai.....	11
<b>Figure 6 :</b> Dispositif expérimental au stade germinatif.....	29
<b>Figure 7 :</b> Pré-germination des graines.....	30
<b>Figure 8 :</b> Mise en place des pots sous serre.....	31
<b>Figure 9:</b> Dispositif expérimental.....	32
<b>Figure 10 :</b> Dosage de la proline.....	36
<b>Figure 11 :</b> Taux de germination des graines.....	38
<b>Figure 12 :</b> Vitesse de germination des graines.....	39
<b>Figure 13 :</b> Hauteur des tiges après un mois du semis.....	40
<b>Figure 14 :</b> Variation de l'humidité du sol en fonction du temps.....	41
<b>Figure 15 :</b> Effet du stress hydrique sur la longueur de la tige.....	43
<b>Figure 16 :</b> Effet du stress hydrique sur la longueur de racine.....	44
<b>Figure 17 :</b> Effet du stress hydrique sur le rapport racine/tige.....	45
<b>Figure 18 :</b> Effet du stress hydrique sur le nombre de feuilles.....	46
<b>Figure 19 :</b> Effet du stress hydrique sur la surface foliaire.....	47
<b>Figure 20 :</b> Effet du stress hydrique sur la teneur relative en eau.....	49
<b>Figure 21 :</b> Effet du stress hydrique sur la teneur en chlorophylle (a).....	50
<b>Figure 22 :</b> Effet du stress hydrique sur la teneur en chlorophylle (b).....	51
<b>Figure 23 :</b> Teneur en chlorophylle (c).....	52
<b>Figure 24 :</b> Effet du stress hydrique sur la teneur en proline des feuilles.....	54
<b>Figure 25 :</b> Effet du stress hydrique sur la teneur en proline des tiges.....	55
<b>Figure 26 :</b> Effet du stress hydrique sur la teneur en proline des racines.....	56
<b>Figure 27 :</b> Effet du stress hydrique sur la teneur en sucres solubles.....	57
<b>Tableau 1:</b> Superficies occupées par le pistachier fruitier et production mondiale.....	5
<b>Tableau 2 :</b> répartition du pistachier fruitier en Algérie.....	5

L'utilisation des espèces arborescentes, adaptées aux aléas climatiques et pouvant s'installer sur les sols érodés, reste la solution la plus préconisée. Ainsi, l'Algérie de part, sa position géographique présentent une large gamme d'étages bioclimatiques et agro-pédologiques induisant une diversité d'espèces spontanées. Pour cela, l'Algérie a opté pour l'usage de ces espèces qui s'avèrent intéressantes par leur adaptation aux multiples conditions agro-climatiques d'une part et d'autre part par leur rôle de conservateur des sols et fixateur des populations rurales (**Larid, 2008**).

L'Algérie comme les autres pays Nord-Africains, présente une carte de dégradation de climat qui se superpose à celle des régions soumises à une longue saison estivale chaude et sèche et à une faible pluviométrie, ces facteurs mènent à la désertification (**Larid, 2008**).

Aujourd'hui, plusieurs espèces végétales se trouvent menacées ou en voie de disparition de par leur dégradation sous les effets des pressions anthropiques (surexploitation des sols, le déboisement et le défrichement intensif) ainsi que par la localisation géographique endémique (**Abu Yaman, 2009**).

Parmi ces espèces, le pistachier fruitier appelé pistachier vrai, du nom scientifique *Pistacia vera L.*, a un rôle important à jouer dans la reconstitution et le repeuplement des massifs dégradés (**Basha et al., 2007**).

Les pistachiers sont des arbustes indifférents à la nature du sol et tolèrent les vents forts et les longues périodes de sécheresse (**Boudy, 1950**). Depuis l'étage bioclimatique humide à l'aride, les pistachiers constituent des espèces essentielles du maquis de la zone méditerranéenne.

Il existe une relation étroite entre le "développement durable" et le milieu naturel. Les responsables doivent prendre de plus en plus en considération les menaces climatiques, le développement économique et la croissance démographique. Le développement durable d'un tel milieu repose avant tout sur une gestion raisonnée des ressources naturelles, du sol, de la végétation et de l'eau. Parmi les ressources végétales, les pistacheraies (**Palemborg, 1984**).

En Algérie, ces espèces communes de nos paysages en peuplements ou en arbustes éparses isolés, connaissent une très forte pression anthropologique qui limite énormément leurs expansions et leurs développements. Ils sont menacés de

dégradation et de disparition, les pistachiers, nécessitent et en absence d'un inventaire national spécifique, une prise en charge effective et immédiate (**Hammiche, 1988**).

La caractéristique aléatoire des précipitations et les sécheresses imprévisibles et sévères viennent souvent aggraver la situation de l'agriculture Algérienne. Sachant que la sécheresse est la contrainte environnementale qui cause certainement le plus de dommages dans les productions agricoles (**Ruivankamp et Richards, 1994**), elle constitue un facteur limitant pour toute culture en affectant un grand nombre de processus.

Le comportement du Pistachier vrai au stade juvénile vis à vis de la sécheresse a fait l'objet de très peu d'études, nous nous proposons dans ce travail d'étudier la germination des graines après scarification chimique par l'acide sulfurique ainsi que les aspects morpho-physiologiques et biochimiques en conditions de stress hydrique.

## CHAPITRE I : GENERALITES SUR LE PISTACHIER VRAI

### 1-Origine du pistachier vrai

Le pistachier vrai est originaire d'Asie Centrale. Il est présent en Turquie depuis 7000 ans avant J. C. Il a été introduit en Italie dès le premier siècle avant J. C. et sa culture s'est étendue aux autres pays méditerranéens et aux USA en 1854 (**Moghtader, 2010**).

Selon **Battle, (1996)**, cette espèce a été réintroduite dans les années 80 du siècle dernier. C'est une culture remplissant des fonctions alimentaires, commerciales et culturelles. Selon **Russell, (1794)**, l'arbre de pistachier fruitier, existe à Alep en syrie depuis plus de 200 ans. **Hadj Hassan, (2003)** à découvert un arbre de 1000 ans à Ain Tinna (Nord de Damas) (**Figure 1**).



**Figure 1:** Arbre de *Pistacia vera* L. (+1000 ans),  
[**Hadj hassan, (2003) in Basirat et Mehrnejad, (2009)**].

En Algérie, le pistachier fruitier a été introduit pour la première fois en 1970 mais il n'a pas eu le développement escompté et ce malgré les efforts faits. Actuellement on le trouve dans les régions de Saida, Bouira, Tlemcen, Batna, Blida et Mascara (**Belhadj, 1999**).

La culture du pistachier demeure rudimentaire, le nombre faible de vergers existants n'ont pas un but commercial. Il est surtout utilisé localement pour l'autoconsommation (**Evreinoff, 1955**). C'est une espèce des régions semi arides et arides (**Anonyme, 2013**).

### **2-Répartition géographique du pistachier vrai**

#### **2.1. Dans le monde**

Le genre *Pistacia*, regroupe un important nombre d'espèces d'origine asiatique (**Mouhajir et al., 2001**).

##### **2.1.1. Superficies**

Le pistachier vrai est cultivé dans les régions arides et semi arides d'Asie (Moyen-Orient) et d'Afrique (Maghreb) mais aussi en Australie, dans quelques pays d'Amérique (Etats-Unis et Mexique), et dans les régions d'Europe méditerranéenne (**Benmahioul et al., 2009**). Sa superficie mondiale est de 594000 ha (**Acar, 2006**).

##### **2.1.2. Production**

La production mondiale en pistaches a augmenté suite aux programmes de plantations accrus et aux développements des recherches et études d'amélioration des productions. En 2009, la production mondiale de la pistache a été de 127.000 tonnes. Les principaux pays producteurs sont l'Iran 55% et les Etats unis 20 % (Tableau1) (**Barone, 1996**).

**Tableau 1:** Superficies occupées par le pistachier fruitier et production mondiale (Anonyme, 2011).

Pays	Superficie (ha)	Production (t)
Iran	257925	472097
Etats unis	61917	201395
Turquie	44097	112000
Chine	25000	74000
Syrie	42718	55610
Italie	3618	10801
Grèce	5207	9580
Tunisie	37185	2100
Jordanie	290	630

## 2.2. En Algérie

Le pistachier fruitier planté en Algérie a connu des contraintes dues à la nature de l'espèce et à la méconnaissance des techniques de sa conduite. Face à ses forts problèmes, l'Algérie en tant que pays dont l'agriculture est un créneau prometteur a repris en main cette culture agro pastorale et commerciale (Anonyme, 2011).

Le *Pistacia vera* est la seule espèce de son genre qui produit des noix comestibles. Son introduction date des années 70-80, avec une superficie globale de 400 ha environ répartis dans les wilayas (Tableau 2) (Kafkas, 2001).

**Tableau 2 :** Répartition du pistachier fruitier en Algérie (Kafkas, 2001).

Régions	Bouira	Batna	Tlemcen	Blida	Msila	Saida	Tighennif
Superficies (ha)	50	20	10	2	150	150	20

Dans la région de l'Ouest du pays, la mise en place de cette culture a été faite en 1973, limitée à la zone de Saida, sur des terres des domaines autogérées dans trois





Le pistachier possède un système racinaire très puissant, il est utilisé contre l'érosion et la lutte contre la désertification qui menacent constamment ces régions arides et sahariennes (ALETA et *al.*, 1996).

### 3.2. Intérêt médicinal

Les espèces de *Pistacia* sont utilisées en traitement contre l'eczéma, la paralysie, diarrhée, les infections de la gorge, l'asthme et les douleurs d'estomac aussi que les calculs rénaux (Mouhajir et *al.*, 2001). Elles ont diverses activités biologiques, hypoglycémiques, antioxydants, anti-inflammatoires et insecticides (Hamdan et Afifi, 2004).

### 3.3. Intérêt nutritionnel

La pistache est l'une des noix les plus pauvres en calories elle contient 3 à 4 kcal par fruit (120 à 180 kcal pour une portion de 30 pistaches et 3 g de fibres alimentaires). C'est aussi une excellente source de potassium, de cuivre et de magnésium. La plupart de ses graisses sont des acides gras qui n'ont pas de conséquence sur le taux de cholestérol sanguin, et les phytostérols qu'elles contiennent aident à réduire l'absorption de cholestérol des autres aliments (Anonyme, 2009).

### 3.4. Intérêt commercial

Selon Oukabli, (2005), le *Pistacia vera* est la seule espèce qui donne des fruits comestibles parmi les espèces que compte le genre *Pistacia*.

Elle constitue une matière première de choix pour l'industrie de la confiserie et de la pâtisserie.

Par ailleurs Olsen, (1999), ajoute que le pistachier vrai peut être utilisé comme espèce pastorale, son bois est un bois de chauffage. Vu tous ces intérêts, le pistachier de l'atlas et le pistachier fruitier méritent d'être protégés et sauvegardés.

## 4-Classification botanique de Pistachier fruitier

Le genre *Pistacia* a une origine très ancienne, ceci explique le fractionnement actuel des aires des différentes espèces. Il regroupe 9 espèces d'arbustes appartenant à l'ordre des Sapindales et à la famille des Anacardiaceae (Mouhajir et *al.*, 2001).

L'étude monographique du genre *Pistacia* faite par **Zohary,(1952)** montre que ce genre comprend 4 sections et 11 espèces.

### 4.1. Classification phylogénétique

La classification phylogénétique du genre *Pistacia* est comme suit (**Spichiger, 2000**) :

- Embranchement : Spermaphytes
- Sous – embranchement : Angiospermes
- Classe : Dicotylédones
- Sous-classe : Dialypétales
- Série : Disciflorales
- Ordre : Térébinthales
- Famille : Anacardiaceae
- Sous-famille : Rhoidées (Anacardiées)
- Ordre : Sapindales
- Genre : *Pistacia*.
- Espèce : *Pistacia vera* (L.)

### 4-2 Classification Classique

La classification admise actuellement est rapportée **Yaaqobi et al., (2009)**.

- Règne: Plantae
- Classe: *Magnoliopsida*
- Ordre: Sapindales
- Famille: *Anacardiaceae*
- Genre: *Pistacia*

## 5. Description de la plante

Le *Pistacia vera* L. est une espèce dioïque (fleurs mâles et femelles poussant sur des arbustes différents) (**Oukabli, 2005**). Le nombre chromosomique est de 2n il est égal à 30 (**Fasihi et al., 2001**). Selon **Larue, (1960)** le pistachier fruitier est une espèce à croissance lente, sa longévité est de 300 à 400 ans.

### 5.1. Partie aérienne

Généralement, il possède une cime très étalée, à tronc marqué dont la base peut atteindre 50 à 70 cm de circonférence (Maggs, 1973). Il ressemble beaucoup au figuier, avec une écorce blanchâtre (Anonyme, 1985).

#### 5.1.1. Feuille

Les feuilles du pistachier ont une longueur de 10 à 20 cm pouvant atteindre jusqu'à 30 cm. Elles sont caduques un peu coriaces composées (3 à 5 folioles glabres et ovales entières) vertes, luisantes sur la face ventrale, plus claires et mates sur la face dorsale. Ses folioles légèrement échancrées au sommet et paripennées (Figure 3) (AlYafi, 1978).



**Figure 3** : Feuilles composées de *Pistacia vera* L.  
(Fasihi et al., 2001).

#### 5.1.2. Fleurs

Les fleurs femelles sont constituées d'un pistil court et recourbé avec un petit ovaire (5 à 7 mm) bi-carpelles. Les stigmates sont bilobés et couvertes par des papilles. A la base, le disque nectarifère est entouré de 5 à 6 sépales rudimentaires. Les fleurs mâles portent 5 étamines (Padulosi, 1995).

Les fleurs mâles sont rosâtres, de petite taille (6 à 10 mm de longueur), spiralées et réunies en un grand nombre pour former des grappes droites et axillaires plus courtes que les feuilles à l'aisselle desquelles sont développées (Aylor, 2003).

### 5.1.3. Fruit

Le fruit est généralement une drupe souvent à mésocarpe résineux. La graine est exalbuminée ou presque, à embryon courbé (**Figure 4**) (**Esmail, 2006**).



**Figure 4:** Fruits immatures de pistachier fruitier  
(**Serrar, 2011**).

### 5.1.4. Graines

La graine possède un seul embryon, les cotylédons sont volumineux de teinte verte; l'épiderme de la graine également appelée amandon est de couleur brune, à reflets rosâtres (**Figure 5**).

L'amandon est d'une saveur très agréable et fine, surtout lorsqu'il est grillé. Il renferme de 56 à 60,4 % d'huile grasse, 18, 87 à 23, 84 % de matières albuminoïdes et 15 à 17,6 % de matières extractives, non azotées (**Evreinoff, 1955**).



**Figure 5 :** Graines de pistachier vrai,  
(Serrar, 2011).

## **5.2. Partie souterraine**

Le système racinaire du pistachier est extrêmement puissant, avec un pivot fortement développé et des racines traçantes. Cette particularité et cette vigueur de croissance sont très caractéristiques chez cette espèce ; d'où son adaptation à des milieux secs et pauvres à climat aride (Campbell, 1995).

## **6. Dormance et besoins en froids**

Le pistachier fruitier (*Pistacia vera* L.) est un arbre qui nécessite une dormance profonde pour sa fructification. Le débourrement s'effectue à partir de la mi-Février pour les variétés précoces et moins exigeants en froids et au début de mois de Mars pour les variétés tardives. L'acquisition de faibles capacités de croissance dès le mois de Septembre semble être favorisée par le stress hydrique du sol et l'inertie de débourrement se renforce avec l'arrivée des premières heures de froid automnales. Les besoins de froids reçus, en conditions naturelles, se situent autour de 500 à 700 heures de températures inférieures à 7.2 °C pour les variétés femelles et 450 heures pour les génotypes mâles appartenant à l'espèce *Pistacia vera* (L). (Rahemi, 2009).

## 7. Caractéristiques pédoclimatiques du Pistachier

Le pistachier vrai est capable de s'adapter dans des milieux souvent difficiles. Sols maigres et calcaires, parfois salés, climats semi arides avec des pluviométries comprises entre 350 et 400 mm/an [**Anonyme, (2008) et Basirat, (2009)**].

Selon **Castillo, (1995)** Le pistachier a aussi l'avantage d'être résistant à la salinité allant de 4 à 6 g de NaCl / litre d'eau.

### 7.1. Irrigation

Le pistachier est réputé résistant à la sécheresse mais il a besoin d'au moins 300 à 450 mm de précipitations. Ces faibles exigences agro-écologiques font du pistachier un moyen de valorisation des espaces extensifs en voie de désertification et une espèce fruitière dont la culture connaît une grande expansion dans le monde (**Serrar, 2011**).

### 7-2-Sol

Le *Pistacia vera* (L.) est une espèce originaire du moyen Orient, il est cultivé en sec et en irrigué dans les zones arides sur les sols légers en pente. (**Messaoudi, 2008**).

Selon **Chebouti (2002)**, Il tolère très bien les sols pauvres et s'adapte à de nombreux type de sols, bien qu'il préfère les sols argilo-sableux relativement profonds, bien drainé légers, secs avec une teneur élevée en calcaire .

### 7.3-Altitude

Le Pistachier peut être cultivé avec succès à des altitudes atteignant 1200 m à 1500 m. La floraison devenant plus tardive avec l'altitude ne subit pas des dégâts de gelées printanières (**Hallage, 1927**).

### 7.4. Climat

Le pistachier fruitier ou vrai, croît naturellement dans les régions arides caractérisées par des étés chauds, secs et des hivers modérément froids (**Laghzali, 1992**).

L'insuffisance en froid en cas d'hiver doux provoque un développement incomplet des feuilles et folioles avec un retard et une irrégularité de la floraison, de la feuillaison et apparition des noix sur les pousses de l'année. Aussi des étés chauds et

secs sont nécessaires pour la maturation des pistaches. Cet arbre craint les gelées tardives (Serrar, 2011).

### **8. Récolte et rendement**

La récolte peut s'effectuer manuellement ou mécaniquement au cours du mois d'octobre lorsque les enveloppes externes des noix commencent à s'ouvrir.

Le pistachier fruitier est caractérisé par une alternance de production notamment en absence d'irrigation. En irrigué cette alternance peut être atténuée et les rendements attendus peuvent être plus important avec des taux de déhiscence élevés des noix. En Californie des arbres âgés de 8 à 15 ans produisent de 2 à 8 Kg de noix/arbre/an soit 200 à 800 Kg/ha en faible densité (Serrar, 2011).



## CHAPITRE II : MULTIPLICATION DE PISTACHIER

Diverses techniques de multiplication sont mises en œuvre, tels que le semis suivi du greffage, le bouturage, le micro-greffage et la culture in vitro [ALETA *et al.*, (1997) et CHATIBI *et al.*, (1998)].

### 1. Multiplication par semis

La multiplication par semis peut naturellement être utilisée mais pour tous les arbres fruitiers sélectionnés, il est très rare de retrouver, par cette méthode, des arbres possédant toutes les qualités du pied mère. Le résultat obtenu par semis présente des qualités inférieures à ceux des plantes-mères. Le semis est assez délicat et demande beaucoup de soins. Il peut être réalisé soit directement en place soit en pépinière. [Sheibani, (1996) et Kafkas, (2001)].

#### 1.1. Levée de dormance

##### 1.1.1. Dormance

La dormance est un état physiologique particulier présenté par certains organes végétaux, dont la graine où la croissance s'arrête (Anonyme, 1981).

Même lorsque les semences sont mises à germer dans des conditions adéquates telles que l'humidité, la température et l'oxygénation, ces dernières ne germent pas, ceci veut dire que ces graines sont inaptées ou dormants (Suszka *et al.*, 1994).

##### 1.1.2. Type d'inaptitude à la germination

L'inaptitude à la germination ou la dormance peut avoir deux grandes catégories L'embryon lui-même peut être incapable de germer, même s'il est débarrassé des diverses enveloppes qui l'entoure : donc il s'agit d'une 'dormance embryonnaire'.

Si l'embryon dénudé germe parfaitement, mais la semence intacte ne germe pas car l'embryon est enfermé dans des téguments, dans ce cas il s'agit d'une dormance tégumentaire (Chikh, 1987).

### 1.1.3. Levée d'inaptitude à la germination

Selon **Mazliak, (1981)**, pour que l'embryon germe, il faut qu'il reçoive suffisamment d'oxygène à travers les enveloppes qui l'entourent et par conséquence ces dernières doivent être perméables à ce gaz.

Afin d'éliminer ces barrières imperméables, il faut faire une scarification mécanique ou chimique, qui facilite le passage de l'eau ainsi que l'oxygène à l'intérieur des semences pour la germination.

D'après **Aleta, (1997)**, pour les graines du pistachier, le mésocarpe doit être éliminé car il est considéré comme un inhibiteur de la germination.

De plus, il est possible d'augmenter le taux de germination des semences du pistachier vrai en utilisant un trempage dans l'acide sulfurique, suivi d'un lavage à l'eau courante avant leur ensemencement (**Anonyme, 1993**).

## 2. Multiplication par greffage

La production de plants de pistachier par greffage est difficile. Tous les stades du processus de production, que ce soit la germination des semences, la préparation des plants avant le greffage, le greffage et la transplantation sont considérés comme particulièrement compliqués (**Holtz et al., 1995**).

La préparation des plants pour le greffage n'est facile pour aucune des espèces utilisées du genre *Pistacia*. Pour éviter les difficultés de transplantation en verger, il est nécessaire d'utiliser des plants greffés les plus jeunes possibles et pourvus d'un bon système racinaire [**jacquy (1972) et Vargas, (1985) et Holtz et al., (1995)**].

Un porte-greffe issu de semis sera greffable au bout de 2 à 3 ans. Les graines de la dernière récolte sont choisies. Ces dernières, aussitôt récoltées, doivent être débarrassées de leur mésocarpe, elles sont ensuite séchées et conservées dans des sachets dans un endroit frais.

La période de stratification-vernalisations sera au minimum d'un mois, et au maximum de trois mois. Elle s'effectue à une température de +4 à +8°C, en atmosphère humide. Les graines sont plantées, dans un substrat composé de sable [**Caruso et De Michelle, (1987) et Romero et al., (1988)**].

### **3. Multiplication par culture in vitro**

L'extension de la culture du pistachier et son amélioration est tributaire de la mise au point de techniques fiables de multiplication. La technique de culture in vitro a toujours été un outil de prédilection pour la production en masse de plusieurs espèces fruitières et ligneuses (**Debergh et Zimmerman, 1991**).

Chez le pistachier, et malgré les progrès accomplis dans ce domaine (**Barghchi et Alderson, 1989**), la culture in vitro se heurte à plusieurs problèmes liés au choix de l'explant, à l'initiation aseptique, à la nécrose des bourgeons apicaux, à la régression des potentialités en subculture, et surtout à l'enracinement et à l'acclimatation des vitroplants (**Chatibi et al., 1995**).

## CHAPITRE III : STRESS HYDRIQUE

### 1. Rôle de l'eau dans la plante

La nécessité de l'eau pour la plante est prouvée par de multiples observations comme le flétrissement et la mort de ses organes plantes, d'où l'importance de l'irrigation au cas de faibles précipitations (**Kiès, 1977**). Les rôles multiples assurés par l'eau au sein des plantes en font le premier facteur limitant leur fonctionnement. Parmi ces rôles, nous pouvons citer :

#### 1.1. Source d'éléments essentiels

L'eau est aussi une source d'éléments essentiels pour le métabolisme des végétaux, sa composition fournit différents constituants nécessaires à la biosynthèse des molécules organiques.

#### 1.2. Participation des réactions biochimiques

Les molécules d'eau participent directement à de nombreuses réactions biochimiques d'hydrolyse ou de condensation.

Il est à noter également que l'insuffisance d'eau est nuisible car le déficit hydrique est l'un des éléments limitant la production des cultures, surtout en période de croissance [**Mangel et Kirkby, (1979)** et **Hanks et Rasmussen, (1982)**].

#### 1.3. Maintien des structures chimiques et biochimiques

L'eau contribue au maintien de la structure et l'organisation de la cellule car elle forme la phase de dispersion du cytoplasme pour les constituants chimiques et organiques.

#### 1.4. Transport des éléments minéraux et des substances organiques

Au niveau de la plante entière, l'eau est le vecteur de la migration des éléments minéraux absorbés par les racines, c'est aussi en milieu aqueux que sont transportés les substances élaborées dans les feuilles et où sont véhiculés les déchets du catabolisme (**Morad, 1995**).

### 2. Effet du stress hydrique sur le développement des plantes

Le stress hydrique est l'un des stress environnementaux les plus importants, affectant la productivité agricole. C'est un problème sérieux dans beaucoup d'environnements arides et semi-arides, où les précipitations fluctuent d'année en année et où les plantes sont soumises à des périodes plus ou moins longues de déficit hydrique (**Boyer, 1982**).

#### 2.1. Notion de stress

Le stress chez les plantes apparaît avec des significations différentes en biologie, qui convergent principalement en attribuant le stress à n'importe quel facteur environnemental défavorable pour une plante (**Levitt, 1980**).

**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.

D'après **Jones et al., (1989)** un stress désigne à la fois l'action d'un agent agresseur et les réactions néfastes 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 et/ou salinité) affectent les conditions de croissance, le développement et le rendement des plantes (**Madhava Rao et al., 2006**).

#### 2.2. Stress hydrique

Le stress hydrique est défini en agriculture comme un déficit marqué et ce compte tenu des précipitations qui réduisent significativement les productions agricoles par rapport à la normale pour une région de grande étendue [**Mckay, (1985) in Bootsma et al., (1996)**].

Selon **Mouhouche et Boulassel, (1997)** 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 et communément appelé stress hydrique.

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

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 (**Madhava Rao et al., 2006**).

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

### **2.3 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 superficielles 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**).

### **2.4. Stress hydrique et la plante**

#### **2.4.1. 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 macromolécules protéiques et ne pouvant absolument pas être enlevée de ces protéines sans en entraîner la dénaturation (**Mazliak, 1981**).

### 2.4.2 Teneur en eau des végétaux

Les teneurs en eau, dans les conditions données, dépendent de l'organe et de l'espèce. Elle se détermine en comparant la masse de la matière fraîche à celle de la matière sèche obtenue par dessiccation (**HELLER et al. 1998**).

### 2.5. Paramètres affectés par le stress hydrique

**Teulat et al., (1997)** souligne que lorsque l'alimentation hydrique est interrompue, la plante a du mal à répondre à la demande climatique, la teneur en eau du sol dans la zone racinaire décroît et induit une diminution de la transpiration ainsi que du potentiel hydrique foliaire.

#### 2.5.1. Croissance végétative

Le développement végétatif d'une plante cultivée sous conditions hydriques limitantes est fortement perturbé [**Chaves et al., (2002)** et **Lebon et al.,( 2006)**] On note principalement une diminution importante de la taille, de la longueur des entre-nœuds, du nombre de feuilles ainsi que de la surface foliaire [ (**Lebon et al., (2006)** et **Attia, (2007)**]. Les plantes soumises à un déficit hydrique voient généralement leur sénescence foliaire s'accélérer. Une perte trop importante d'eau peut conduire à la mort des cellules [**Kramer et Boyer et (1995)**; **Anonyme, (2006)**].

#### 2.5.2. Croissance des organes reproducteurs

La croissance des jeunes organes reproducteurs (ovules, fleurs et graines) ainsi que leur nombre (défini par des processus de ramification) sont limités en cas de déficit hydrique. Il en résulte une réduction du nombre de graines, qui aura un effet sur le rendement même si les conditions hydriques redeviennent favorables (**Anonyme, 1979**).

#### 2.5.3 Composition biochimique de la graine et rendement

Selon le positionnement dans le cycle de développement et l'intensité de la contrainte hydrique, le stress hydrique influence les rendements ainsi que la composition biochimique des graines. Un déficit hydrique après la fécondation réduit la taille des organes et si elle se poursuit pendant la phase de remplissage, elle affecte leur

composition. Les différents métabolismes étant inégalement affectés par le déficit hydrique, les concentrations relatives des différents composés sont alors modifiées. Un manque d'eau induit généralement une baisse des teneurs en amidon et en huile des graines et une augmentation des teneurs en protéines [**Hireche, (2006) et Anonyme, (2006)**].

### **2.5.4. Photosynthèse**

Parmi les modifications physiologiques liées au stress hydrique, la régulation stomatique qui influe sur la photosynthèse et la respiration, est plus importante. La baisse du potentiel hydrique de la plante se traduit principalement par une diminution de la pression de turgescence puis une régulation stomatique. Un stress hydrique, provoque la fermeture des stomates que se traduit par un ralentissement de la photosynthèse en même temps que la transpiration (**Teulat et al., 1997**).

### **2.5.5. Alimentation minérale**

Le déficit hydrique induit un déficit de nutrition azotée qui provient principalement des réductions de flux d'azote au niveau des racines et de la réduction des échanges entre les parties aériennes et racinaires du fait de la chute de la transpiration [**Dugo, (2002) et Anonyme, (2006)**]. Le facteur d'aridité peut affecter la nutrition phosphatée dans les zones semi-arides en réduisant de manière drastique les possibilités de désorption des ions phosphates depuis la phase solide du sol et de leur transfert vers la racine. En effet, 95% du phosphore prélevé doit être désorbé avant d'être transféré vers la plante (**Fardeau et Frossard, 1991**).

## **3. Mécanisme d'adaptation des plantes au stress hydrique**

La résistance d'une plante à une contrainte hydrique peut être définie, du point de vue physiologique, par sa capacité à survivre et à s'accroître et du point de vue agronomique, par l'obtention d'un rendement plus élevé que celui des plantes sensibles (**Madhava Rao et al., 2006**). Pour lutter contre le manque d'eau, les plantes développent plusieurs stratégies adaptatives qui varient en fonction de l'espèce et des conditions du milieu (Esquive, évitement et tolérance) (**Turner, 1986**).

Selon **Gaufichon, (2010)** ces réponses reflètent trois stratégies différentes :



- L'esquive est une adaptation à l'environnement qui permet aux plantes d'éviter les périodes critiques pour leur bon développement.
- L'évitement permet aux plantes de limiter les effets du stress, grâce à des adaptations comme l'enroulement des feuilles. Cette stratégie permet la survie au dépend de la productivité.
- La tolérance permet un maintien des fonctions cellulaires indispensables à la survie, grâce à des réponses spécifiques et ciblées.

**Hsissou, (1994)**, note que la résistance globale d'une plante au stress hydrique apparaît comme le résultat de nombreuses modifications anatomiques, morphologiques, physiologiques, biochimiques et moléculaires qui interagissent pour permettre le maintien de la croissance, du développement et de la production.

### **3.1. Adaptations morphologiques**

L'effet du stress hydrique peut se traduire, selon la stratégie adaptative de chaque espèce, par des modifications morphologiques pour augmenter l'absorption d'eau et pour diminuer la transpiration et la compétition entre les organes pour les assimilés. Ces modifications affectent la partie aérienne et/ou souterraine (**Bajji, 1999**).

#### **3.1.1 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.

#### **3.1.2. Surface foliaire**

Une diminution de la surface foliaire exposée et une adaptation à 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 (**Salah et Tardieu, 1997**).

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**).

### **3.1.3. Système racinaire**

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 phénomène 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 (**Bensari 1990 et Mazouz, 2006**).

## **3.2. Adaptations physiologiques**

### **3.2.1. Teneur relative en eau**

La teneur relative en eau (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, la teneur relative en eau est fortement liée à l'environnement. 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 (**Tazi et al., 2003**).

### 3.2.2. Teneur en chlorophylle

**Bousba et al., (2009)** soulignent que sous un stress hydrique, il a été constaté une diminution de la teneur en chlorophylle notamment chez le blé dur. Pour limiter les pertes en eau par évaporation (**Slayter ,1974**).

Le rapport chlorophylle (a/b) est un bon indicateur du seuil de tolérance au stress hydrique (**Guettouche, 1990**).

**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 (a) et (b).

### 3. 2. 3. Capacité photosynthétique

La cinétique de la fluorescence chlorophyllienne est utilisée pour étudier les effets des stress abiotiques sur le rendement de la photosynthèse (**Krause et Weis, 1991**). **Djekoun et Planchon, (1991)** ont confirmé l'intérêt des mesures in vivo de la fluorescence chlorophyllienne pour l'étude de l'adaptation des plantes cultivées aux contraintes de l'environnement.

Selon **Heitholt et al., (1991)** Une grande partie du stress hydrique a été attribuée pour diriger les effets de la déshydratation sur les réactions biochimiques de la photosynthèse.

**Ykhlef et Djekoun, (2000)** suggèrent que la survie des plantes au manque d'eau est en partie due à l'entretien de la capacité photosynthétique des feuilles, permettant le rétablissement rapide des plantes suite à une période de stress hydrique.

### 3.2.4. Régulation stomatique

La réduction de la perte en eau par la fermeture stomatique est un moyen d'adaptation des plantes au stress hydrique (**Djekoun et Planchon, 1992**). Cette diminution de la transpiration peut engendrer une réduction de la photosynthèse. Ainsi, les génotypes qui ont la capacité photosynthétique intrinsèque la moins affectée par le stress hydrique présentent une efficacité de l'utilisation de l'eau (photosynthèse/transpiration) plus élevée et une plus grande capacité de survie (**Ykhlef, 2001**).

La régulation de l'état hydrique des parties aériennes de la plante par la fermeture des stomates est notamment déclenchée par un signal chimique racinaire, cette dernière est une phytohormone, l'acide abscissique (ABA), synthétisé par les racines soumises à un stress hydrique et qui est véhiculé jusqu'aux feuilles par la sève brute. L'accroissement de la densité stomatique peut augmenter l'assimilation nette du CO<sub>2</sub> et diminuer la perte en eau. En effet, un nombre élevé de stomates peut engendrer des stomates de petite taille et à fermeture rapide (**Djekoun et Ykhlef, 1996**).

### **3.2.5. Ajustement osmotique**

L'ajustement osmotique est généralement considéré comme un élément important dans la tolérance des plantes au stress hydrique (**Bajji et al., 2001**). Cet ajustement implique l'accumulation, au niveau cellulaire, des sucres, d'acides aminés notamment la proline (**Nouri et al., 2002**).

Chez la plupart des végétaux, les métabolites impliqués dans cet ajustement sont assez variés. Des études menées sur l'osmorégulation indiquent que les acides aminés libres peuvent jouer un rôle significatif dans ce processus (**Tahri et al., 1997**).

Parmi les acides aminés pouvant être accumulés, la proline représente l'une des manifestations les plus remarquables des stress. Les sucres aussi ont été considérés par plusieurs auteurs comme des bons osmorégulateurs qui peuvent jouer un rôle important dans l'ajustement osmotique et l'adaptation des plantes au stress hydrique (**Cai et al., 2007**).

### **3.3. Adaptation biochimique**

#### **3.3.1. Accumulation de la proline en condition de stress hydrique**

Le stress hydrique induit l'accumulation de la proline (**Michel, 1977**). Cette accumulation est un moyen pour les plantes de maintenir une pression osmotique supérieure à celle du sol sans faire appel à une trop grande quantité d'ions minéraux toxiques (**Guignard, 2000**).

### 3.3.1.1. Proline

La proline est un amino-acide qui possède un groupement azoté sous la forme aminé (NH) secondaire et comporte un radical NH au lieu du radical NH<sub>2</sub> des autres acides aminés. C'est un corps blanc très soluble dans l'eau et dans l'éthanol ; il est facilement oxydé par la ninhydrine (**Nemmar, 1983**).

La sécheresse induit une synthèse de molécules 'protectrices' et osmotiquement actives. Ces petites molécules sont notamment, des composés ammonium quaternaire, comme la proline. Il participe certainement à l'ajustement osmotique en conditions hydriques limitantes (**Voetberg et Sharp, 1991**).

### 3.3.1.2. Rôle de la proline dans l'adaptation à la sécheresse

L'accumulation de la proline constitue aussi un véritable mécanisme de tolérance au stress hydrique. L'accumulation se fait dans le cytoplasme elle peut participer effectivement à l'ajustement osmotique de la plante (**Slama et al., 2004**).

La proline peut stabiliser les membranes, en interagissant avec les phospholipides et aussi augmenter la solubilité des protéines. Son accumulation s'observe aussi à basse température ou lorsque la salinité du milieu est élevée (conditions toujours associée à une contrainte hydrique). L'accumulation de la proline est une réponse au stress très répandue dans le monde végétale ; elle s'observe aussi dans le monde des bactéries (**Samaras et al., 1995**).

### 3.3.2. Accumulation des sucres solubles sous stress

Les sucres semblent intervenir dans le contrôle de la régulation de l'état hydrique des cellules lors des contraintes osmotiques (**Popp, 1995**).

L'implication des sucres dans la tolérance au stress hydrique a été mise en évidence par les corrélations observées entre le contenu en certains sucres et l'acquisition de la tolérance (**Déjardin et al., 1999**).

Le potentiel osmotique peut être maintenu pour un stress hydrique de faible ou moyenne intensité, par ajustement osmotique. Les sucres peuvent servir de

composés solubles compatibles pour cet ajustement osmotique comme autres molécules que la proline.

De nombreuses études ont mis en évidence l'accumulation de sucres solubles lors de la dessiccation. Les sucres solubles peuvent être présents dans des tissus bien hydratés, mais le saccharose est préférentiellement accumulé dans les tissus en déshydratation (**Déjardin et al.,1999**).

### **3.3.3. Synthèse des protéines liées à la tolérance au stress hydrique**

Les protéines de stress jouent un rôle dans l'adaptation de la plante et de ce fait de nombreux chercheurs abordent la résistance au stress par l'isolement et l'étude de ces molécules (**Campalans et al., 1999**).

Des études de **Schulze et al., (2005)** montre ont qu'une partie des protéines induites ont une fonction directe dans l'augmentation de la tolérance au stress (protéines fonctionnelles), d'autres ont une fonction dans la chaîne de transduction (protéines régulatrices) qui aboutiront à la production de protéines fonctionnelles.

## CHAPITRE III : MATERIEL ET METHODES

### 1-Objectif du travail

Notre travail consiste à suivre de l'effet de scarification chimique sur la germination, ainsi que le suivi du comportement et la croissance des jeunes plantules de pistachier vrai (*Pistacia vera*) sous l'effet du stress hydrique.

Ces deux expérimentations nous permettent de suivre la réaction ainsi que la tolérance et l'adaptation des plantules de pistachier vrai (*Pistacia vera*) aux conditions difficiles (arrêt d'arrosage).

### 2-Site d'expérimentation

Nous avons réalisé notre travail au sein du laboratoire de production végétale du département de biotechnologies de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'université Blida (1).

### 3-Matériel végétal et conditions de culture

Au cours de cette étude, les graines du pistachier (cultivar "Batouri") utilisées ont été récoltées aléatoirement à maturité le mois d'octobre 2013 à partir des arbres du pistachier fruitier situés à la ferme de démonstration (ITAFV) dans la wilaya de Mascara. Nous avons conservé les graines à l'abri de l'humidité dans un sachet en papier kraft jusqu'à leur utilisation.

### 4. Levée de dormance des graines du pistachier vrai

#### 4.1. Test de germination

Le test de germination est réalisé par scarification chimique. Les graines du pistachier vrai sont trempées dans une solution d'acide sulfurique utilisé à 96%, pendant trois périodes :

(T<sub>1</sub>) : 15 minutes, (T<sub>2</sub>) : 30 minutes, (T<sub>3</sub>) : 60 minutes plus le (T<sub>0</sub>) en comparaison avec le témoin : témoin semis direct.

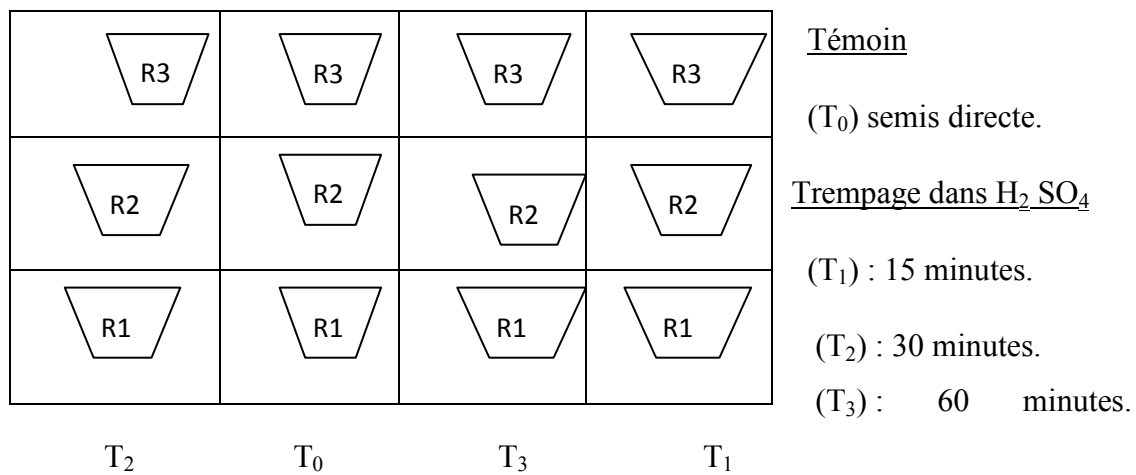
Ensuite elles sont rincées abondamment à l'eau distillée et mises à germer dans des gobelets. La capacité du gobelet est de 50 ml, ce dernier est perforé à la base. Nous avons utilisé comme substrat la tourbe tamisée et stérilisée.

L'essai de germination comprend 35 graines pour chaque essai avec un témoin(T<sub>0</sub>) (semis directe). Les taux de germination obtenus sont exprimés en pourcentage.

Les gobelets contenant les graines traitées du pistachier vrai ( $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ ) plus le témoin ( $T_0$ ) ont été placés dans l'étuve à une température ambiante de  $20$  à  $25 \pm 2^\circ\text{C}$ . L'arrosage à l'eau de robinet a été effectué au moyen d'une pissette et à une fréquence de 3 à 4 fois par semaine selon la température et l'humidité de l'air dans l'étuve.

#### 4.2. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental adopté au cours de notre expérimentation est un bloc aléatoire complet sans contrôle d'hétérogénéité à randomisation totale (**Figure 6**).



**Figure 6** : Dispositif expérimental au stade germinatif.

( R1 à R3 : Répétitions).

#### 4.3. Paramètres étudiés

##### 4.3.1. Taux de germination

C'est le nombre des graines germées par rapport au nombre de graines mises en germination. Une graine est considérée germée lorsqu'elle émet une radicule et une gemmule. Les résultats à la fin de chaque test de germination des graines sont exprimés en pourcentage :

$$\text{TG (\%)} : N / 35 \cdot 100$$

TG : taux de germination.

N : nombres des graines germées



#### 4.3.2. Vitesse de germination

C'est le nombre des graines germées par rapport au temps (nombre de jours).

#### 4.3.3 Hauteur des tiges

On a mesuré la hauteur des tiges à partir du point de contact du collet jusqu'à l'apex à l'aide d'une règle graduée. Les mesures de la hauteur des tiges ont été effectuées après un mois du semis.

### 5. Stress hydrique

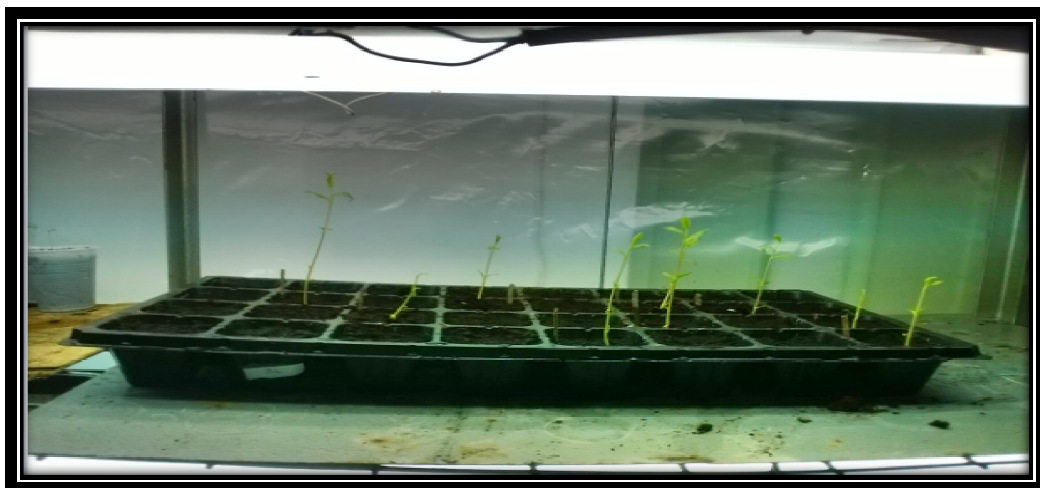
#### 5.1. Préparation des graines et la mise en germination

Avant la mise à germination, les graines ont été trempées dans de l'eau tiède pendant 48 heures afin de ramollir l'épicarpe.

Elles sont ensuite mises à germer dans des alvéoles en plastique noir remplies de tourbe stérilisée que nous avons placée dans une mini serre (**Figure 7**).

Après germination les plantules sont repiquées individuellement dans des pots. Ces derniers sont remplis par un substrat constitué d'un mélange de sol et de tourbe (deux volumes de terre que nous avons ramené de la station expérimentale de l'université Blida (1) et un volume de tourbe).

Le fond de chaque pot est tapissé d'une couche de gravier bien rincé afin d'éviter l'asphyxie des racines et laisser drainer l'eau en excès.



**Figure 7** : Pré-germination des graines.

Les pots ont été placés sous serre, ils sont irrigués à l'eau de robinet chaque deux jours pour favoriser la reprise des plantules durant trois mois avant l'application du stress.

## 5.2. Stress hydrique au stade plantules

Le stress hydrique est provoqué par un arrêt d'arrosage des plantules pendant une durée extrême qui correspond au dessèchement total des plantules.



**Figure 8** : Mise en place des pots sous serre.

Durant cette étape, le facteur étudié est l'arrêt d'arrosage à 3 niveaux en comparaison avec le témoin:

T<sub>0</sub> : Plantules arrosées régulièrement une fois tous les deux jours.

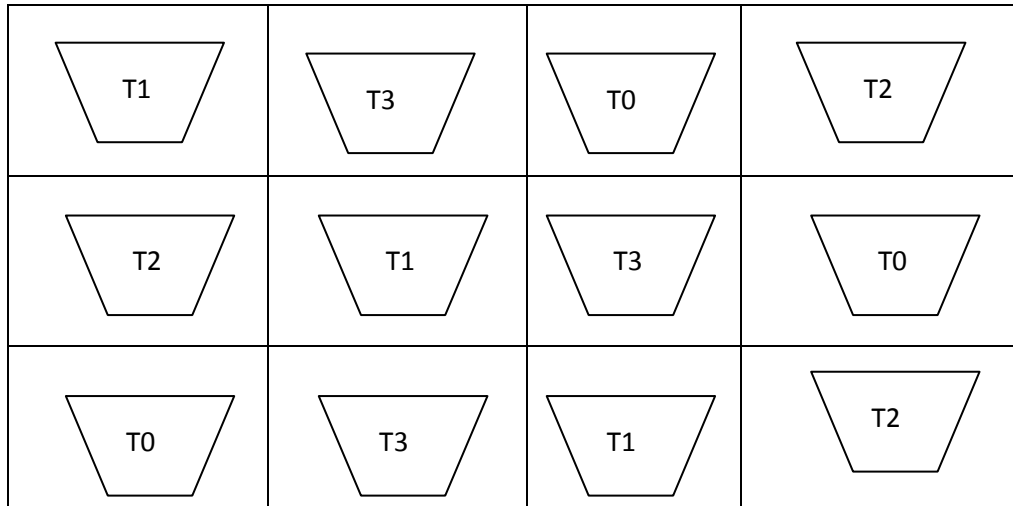
T<sub>1</sub> : Arrêt d'arrosage des plantules pendant une période de 5 jours.

T<sub>2</sub> : Arrêt d'arrosage des plantules pendant une période de 15 jours.

T<sub>3</sub> : Arrêt d'arrosage des plantules pendant une période de 21 jours (**Figure 8**).

## 5.3. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental adopté au cours de notre expérimentation est un bloc aléatoire complet sans contrôle d'hétérogénéité à randomisation totale (**Figure 9**).



**Figure 9:** Dispositif expérimental.

#### 5.4. Paramètres étudiés

Afin de provoquer le stress hydrique sur l'espèce étudiée, des paramètres biométriques, physiologiques et biochimiques ont été mesurés.

##### 5.4.1. Mesure de l'humidité du sol

La mesure de l'humidité du sol est réalisée selon la méthode suivante :

Nous prélevons l'échantillon du sol , nous le mettons dans une boîte à masse connue, puis nous le pesons à l'aide d'une balance pour obtenir le poids frais (PF). Nous le plaçons à l'étuve pendant 2 jours à une température de  $105 \pm 10^\circ\text{C}$  jusqu'à obtention de poids constant , ou obtient le poids sec (PS). L'expression de l'humidité est calculée en % :

$$\text{Humidité pondérale (\%)} = [(\text{Poids frais} - \text{Poids sec}) / \text{Poids sec}] \times 100.$$

##### 5.4.2. Paramètres morphologiques au stade plantule

Ces paramètres morphologiques permettent de mesurer l'évolution des plantules après traitement.

#### **5.4.2.1. Surface foliaire**

Après chaque apport de traitement, les feuilles ajustées à la règle sont pris en photos par un appareil photos numérique en gardant le même taux de pixel. Les photos numérisées sont traités par le logiciel ImageTool ver. 3.0, afin calculer la surface foliaire.

#### **5.4.2.2. Croissance en longueur**

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

La longueur de la tige et de la racine principale est mesurée à l'aide d'une règle graduée. Les valeurs enregistrées sont les moyennes obtenues des répétitions/traitement.

#### **5.4.2.3. Nombre de feuilles**

Cette opération a été réalisée après arrachage des plantules dont le but de calculer le nombre de feuilles par plantule suivant le type de traitement.

### **5.4.3. Paramètres physiologiques**

#### **5.4.3.1. Teneur relative en eau (TRE)**

La teneur relative en eau des feuilles est le rapport entre la teneur en eau de l'échantillon au moment de sa récolte sur la teneur en eau maximale lorsque les cellules sont en pleine turgescence.

Elle est déterminée par la méthode décrite par **Barrs, (1968)**. Les feuilles sont coupées à la base du limbe, elles sont pesées immédiatement pour obtenir leur poids frais (PF).

Elles sont ensuite mises dans des tubes à essai remplis d'eau distillée et placées à l'obscurité dans un endroit frais. Après 24h les feuilles sont retirées, déposées sur du papier buvard pour absorber l'eau de la surface, pesées à nouveau pour obtenir le poids de la pleine turgescence (PT).

Les échantillons sont enfin mis à l'étuve réglé à  $80 \pm 5^\circ\text{C}$  pendant 48h et pesés pour avoir leur poids sec (PS). La teneur relative en eau est calculée par la formule de **Clark et Mac-Caig, (1982)** :

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

PF = poids frais.

PT = poids à saturation.

PS = poids sec.

#### 5.4.3.2. Dosage de la chlorophylle

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

Le mélange est mis dans des tubes à essais et placés à l'obscurité pendant 48 heures. La densité optique (DO) de la totalité des surnageants obtenus est mesurée à 470 nm, 645 nm et 663 nm. La méthode de **Francis et al., (1970)** est utilisée pour le calcul des chlorophylles :

- $\text{Chl (a) (mg /g MF)} = 12.6 * \text{DO}_{663} - 2.59 * \text{DO}_{645} * \text{V} / (1000 * \text{W})$
- $\text{Chl (b) (mg /g MF)} = 22.9 * \text{DO}_{645} - 4.68 * \text{DO}_{663} * \text{V} / (1000 * \text{W})$
- $\text{Chl (c) (mg /g MF)} = 1000 * \text{DO}_{470} - [1.82 \text{ Chl a} - 85.02 \text{ Chl b}] / 15$

**V:** volume de solution extraite.

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

#### 5.4.4. Paramètres biochimiques

Les paramètres biochimiques consistent à mesurer les quantités des constituants des organes biologiques notamment sucres solubles et proline

#### 5.4.4.1. Dosage de la proline

La méthode suivie est celle de **Trolls et Lindsley, (1955)**, simplifiée et mise au point par **Rasio et al., (1987)**.

Elle consiste à prendre 0.1 g de matière fraîche dans des tubes à essai contenant 2 ml de méthanol à 40%. Le tout est chauffé à 85°C dans un bain-Marie pendant 60mn. (Les tubes sont recouverts de papier aluminium pendant le chauffage pour éviter la volatilisation de l'alcool) Après refroidissement ; on prélève 1ml d'extrait auquel il faut ajouter :

- ❖ 1 ml d'acide acétique ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) ;
- ❖ 25 mg de ninhydrine ( $\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_4$ ) ;
- ❖ 1 ml de mélange contenant :
  - 120 ml d'eau distillée ;
  - 300 d'acide acétique ;
  - 80 ml d'acide orthophosphorique ( $\text{H}_3\text{PO}_4$  .d=1.7)

La solution obtenue est portée à ébullition pendant 30 mn à  $100 \pm 10^\circ\text{C}$ , la solution vire au rouge, après refroidissement. Une quantité de 5 ml de toluène sont rajoutés à la solution qui est agitée, deux phases se séparent (une phase supérieure de couleur rouge qui contient la proline et une phase inférieure transparente sans proline) (**Figure 10**).

Après avoir éliminé la phase inférieure, la phase supérieure est récupérée est déshydratée par l'ajout d'une spatule de Sulfate de Sodium ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$  anhydre pour éliminer l'eau qu'elle contient). On détermine la densité optique (Do) à l'aide d'un spectrophotomètre sur une longueur d'onde de 528 nm. Les valeurs obtenues sont converties en taux de proline en établissant une courbe étalon , préalablement établie à partir d'une série de solution de concentration en proline connue. Cette courbe est utilisée pour déterminer les teneurs en proline dans les feuilles des plantes (**Annexe 1**).

La détermination de la teneur de la proline est calculée selon la formule :

$$\text{Proline } (\mu\text{g/g MF}) = \text{DO}_{528} * 0.62$$

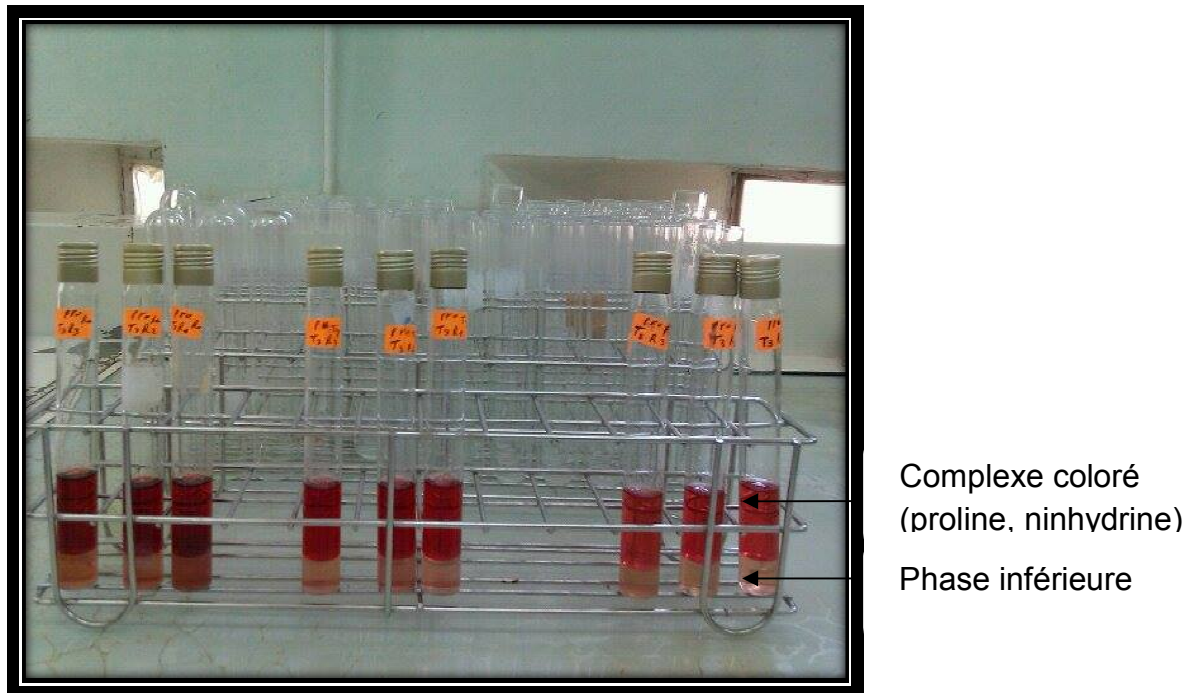


Figure 10 : Dosage de la proline.

#### 5.4.4.2. Dosage des sucres solubles

Les sucres solubles sont dosés par la méthode au phénol de **Dubois et al., (1956)**. Elle consiste à prendre 0.1 g de matière fraîche, placées dans des tubes à essais, on ajoute 2 ml d'éthanol à 80% pour faire l'extraction des sucres. On laisse à température ambiante pendant 48h à l'obscurité. Pour évaporer l'alcool, les tubes à essais sont mis dans un Bain Marie à  $70 \pm 5^\circ\text{C}$  pendant 30 mn. Après refroidissement, nous ajoutons 20 ml d'eau distillée dans chaque tube à essai.

Dans des tubes à essais propres, on met 1ml de la solution à analyser, on ajoute 1ml de phénol à 5% (le phénol est dilué dans de l'eau distillée); on ajoute rapidement 5ml d'acide sulfurique concentré 96%. On obtient, une solution jaune orange à la surface, on passe au vortex pour homogénéiser la couleur de la solution. On laisse les tubes pendant 10 mn et on les places au Bain-Marie pendant 10 à 20 mn à une température de  $30 \pm 2^\circ\text{C}$ .

Les mesures d'absorbances sont effectuées à une longueur d'ondes de 490 nm.

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

$$\text{Sucres Solubles } (\mu\text{g} / \text{g MF}) = \text{DO490} \times 1,657$$

## 6. Analyse statistique

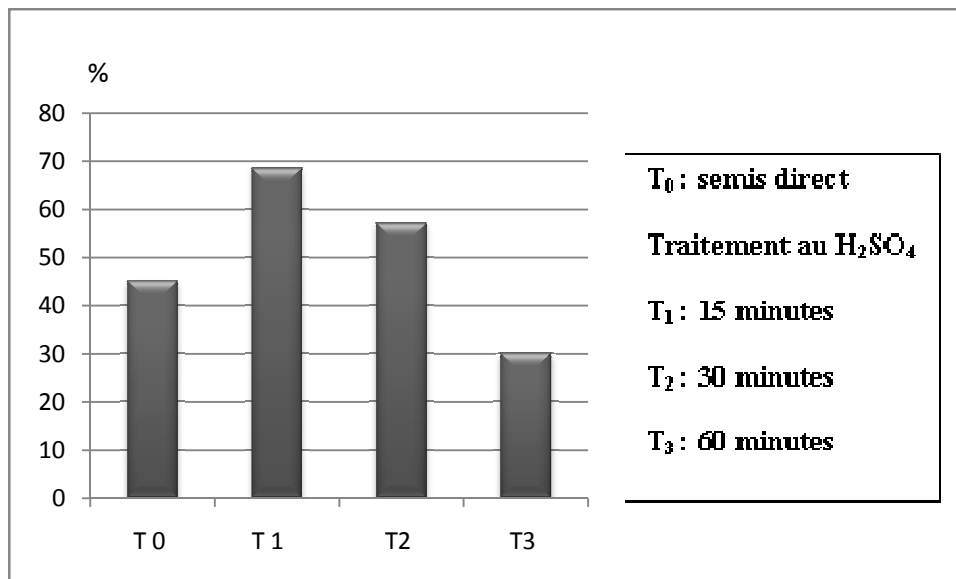
Tous les essais ont été répétés trois fois, concernant le test de germination et les mesures des paramètres morphologiques, physiologiques et biochimiques en relation avec la tolérance au stress hydrique. Les résultats, présentés sous forme d'histogrammes, rejoignent le plus souvent des valeurs moyennes et leurs écartypes, ces deux derniers ont été réalisés par le logiciel **Excel 2007**. L'analyse de variance a été réalisée par l'utilisation du logiciel **SYSTAT7**. On considère que les résultats sont significatifs quand  $P \leq 0,05$ .



**CHAPITRE IV: RESULTATS ET DISCUSSION****1. Essais de germination sur les graines du pistachier vrai****1.1. Taux de germination**

Le test de germination entrepris lors de notre expérimentation montre que les différentes périodes de pré-traitement ont un effet sur la levée des graines.

Les semences du pistachier vrai munies de leurs endocarpes, attaquées par l'acide sulfurique utilisé à 96% durant trois périodes différentes ( $T_1$ ,  $T_2$  et  $T_3$ ) ont montré que le taux de germination le plus élevé est  $T_1$  (trempage durant 15 minutes dans  $H_2SO_4$ ) et  $T_3$  (trempage durant 30 minutes dans  $H_2SO_4$ ). Le témoin a enregistré le taux de germination le faible avec 45% (Figure11).



**Figure 11** : Taux de germination des graines.

L'analyse de la variance à un seul critère de classification montre une différence hautement significative des différents traitements sur la germination : ( $p < 0,000$ ) (Annexe 2).

## 1.2. Vitesse de germination

Le traitement des graines de *Pistacia vera* L. par l'acide sulfurique pendant 15, 30 et 60 minutes, engendre un effet positif sur la vitesse de germination surtout pour les graines traitées par l'acide sulfurique pendant 15 minutes.

Au cours de trois semaines d'observation et en fonction des traitements testés nous avons obtenu (**Figure12 et annexe 3**)

Semaine 1 (19/02 au 25/02/2015)

T<sub>0</sub>: 11 %, T<sub>1</sub>: 63%, T<sub>2</sub>: 43% et T<sub>3</sub>: 31%.

Semaine 2

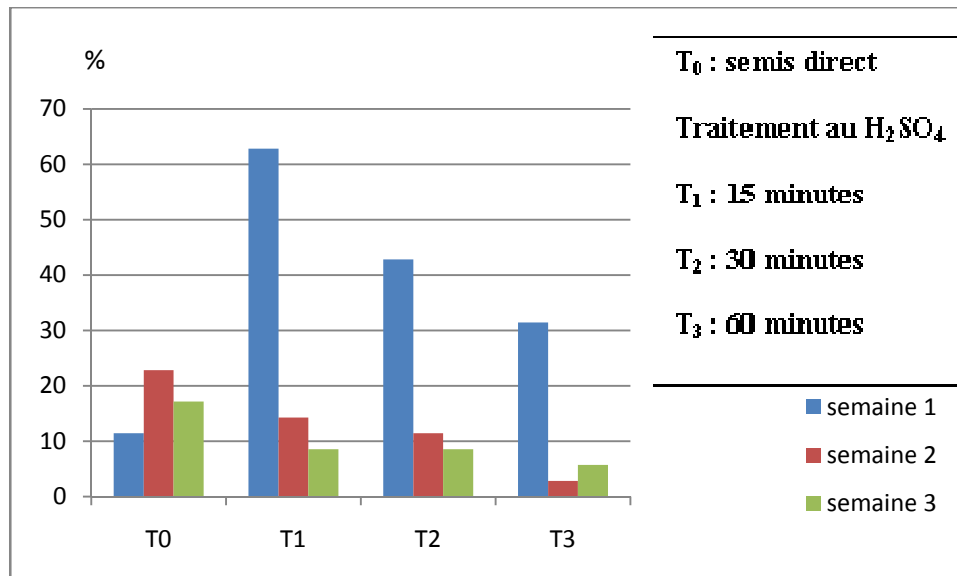
T<sub>0</sub>: 20 %, T<sub>1</sub>: 14%, T<sub>2</sub>: 11 % et T<sub>3</sub>: 3 %.

Semaine 3

T<sub>0</sub>: 17 %, T<sub>1</sub>: 9%, T<sub>2</sub>: 9 % et T<sub>3</sub>: 6 %.

Nous remarquons que le taux de germination diminue d'une semaine à une autre.

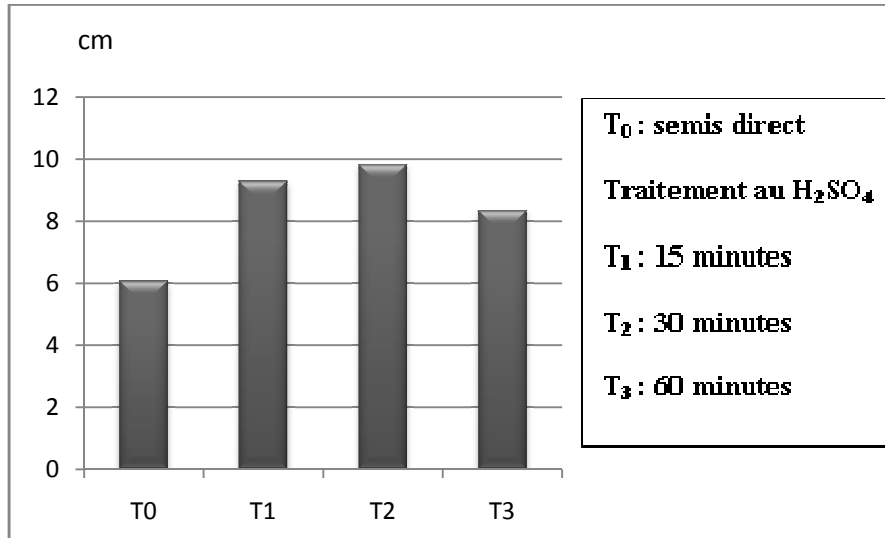
Au-delà, dell troisième semaine la vitesse de germination, s'arrête.



**Figure 12** : Vitesse de germination des graines.

## 1.3. Hauteur des tiges après semis

La hauteur des tiges la plus élevée est remarquée au niveau du traitement (T<sub>2</sub>) (trempage des graines durant 30 minutes dans H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) avec une moyenne de 14 cm (Figure13).



**Figure 13** : Hauteur des tiges après un mois du semis.

Les analyses statistiques concernant la hauteur des tiges montrent, qu'il y a une différence hautement significative entre les traitements testés ( $p=0.00$ ) (**Annexe 04**).

### Discussion

Au cours de notre expérimentation, nous avons constaté que les pré-traitements par l'acide sulfurique ont un effet considérable sur les taux de germination.

Les taux de germination les plus élevés sont obtenus au niveau du T<sub>1</sub> (trempage durant 15 minutes dans H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) avec 68% T<sub>2</sub> (trempage durant 30 minutes dans H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) avec 57% par rapport au témoin (T<sub>0</sub>) ou nous enregistrons que 45%.

Le traitement des graines par l'acide sulfurique concentré, induit un effet positif sur la levée de dormance surtout pour le traitement (T<sub>1</sub>).

L'effet positif de l'acide sulfurique sur les enveloppes des graines traitées T<sub>1</sub> et T<sub>2</sub>, nous a permis de constater que l'embryon n'est pas dormant et que ce sont les enveloppes qui inhibent la germination.

Nous ne déduisons que l'effet négatif de l'acide sulfurique sur la levée de dormance tégumentaire des graines traitées durant 60 minutes dans H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> peut endommager l'embryon qui devient non viable.

Il faut noter que la scarification chimique peut conduire à l'éclatement artificiel des semences, après 1 heure de trempage dans l'acide sulfurique concentré et celles-ci perdent alors leur pouvoir germinatif (**Crane et Ford, 1974**).

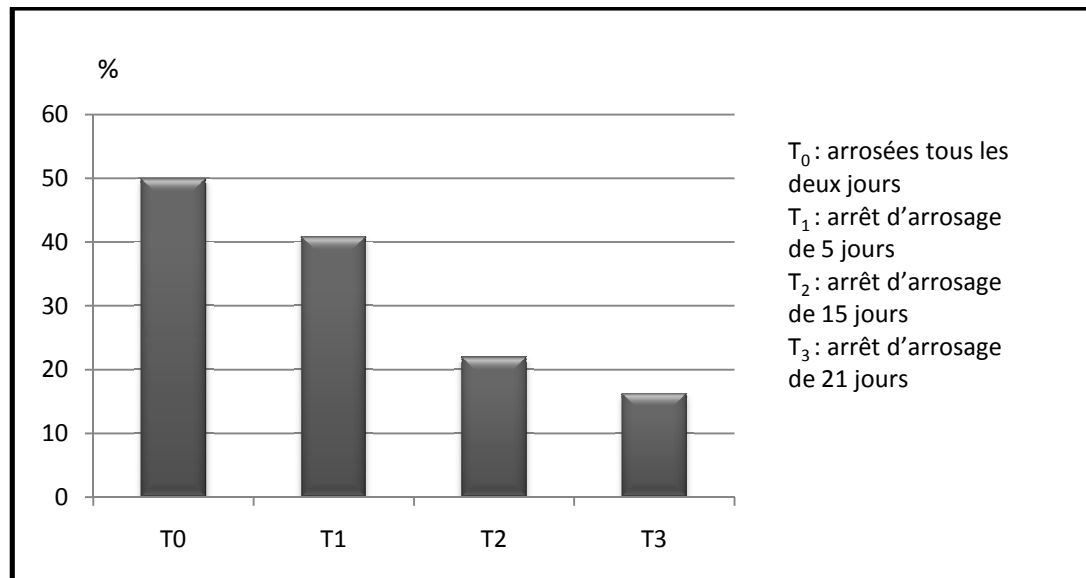
La scarification chimique des graines de *Pistacia vera* (L.), a un effet positif sur la vitesse de germination, Ces mêmes résultats ont été obtenus par **Aleta et al., (1997)**. Ils ont montré l'effet positif du traitement d'acide sulfurique sur la vitesse de germination des semences du pistachier vrai et mentionnent que le trempage des graines du pistachier vrai dans l'acide sulfurique pendant 10 minutes, permet d'avoir une germination dépassant les 80%. Ces auteurs rapportent qu'une durée de trempage d'une heure, ils ont enregistré 30% seulement.

Les différences observées au niveau de la hauteur des tiges après un mois du semis peuvent s'expliquer par le fait que la solution d'acide sulfurique a permis de ramolli les téguments, dûe a une augmentation de la pénétration de l'eau vers les graines, qui a permis une élongation de la tige.

## 2. Stress hydrique

### 2.1. Effet du stress hydrique sur l'humidité du sol

Durant une période de 21 jours d'arrêt d'arrosage la moyenne de l'humidité du sol la plus élevée est observée pour le témoin ( $T_0$ ) avec 50 % par rapport aux autres niveaux de stress ou nous enregistrons après 5, 15, 21 jours d'arrêt d'arrosage 41, 22, et 16% d'humidité du sol respectivement pour les traitements ( $T_1$ ,  $T_2$  et  $T_3$ ) (**Figure 14**).



**Figure 14** : Variation de l'humidité du sol en fonction du temps.

## **Discussion**

Le suivi de l'humidité au cours de l'expérimentation sur les trois niveaux de stress, montre de grandes fluctuations. Les variations de ces teneurs en eau sont à la fonction de l'interaction complexe entre les mécanismes hydriques du sol d'une part et le développement racinaire d'autre part.

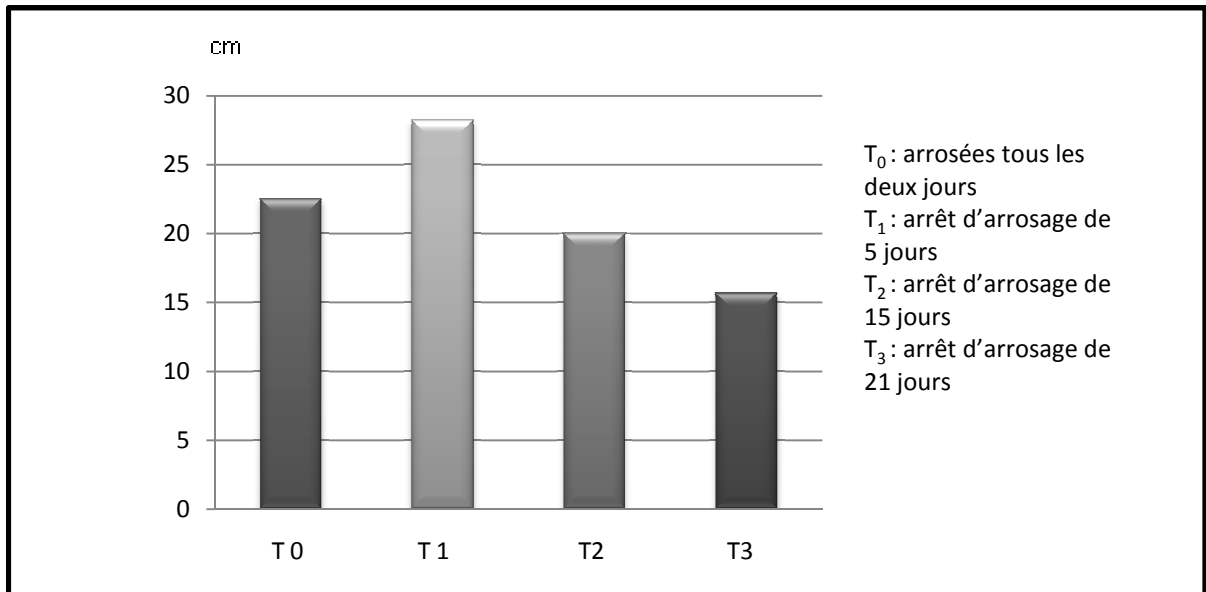
**Bousba et al.,( 2009)** signalent que l'humidité du sol est peu sensible aux conditions d'assèchement, probablement à cause des flux d'eau qui proviennent des couches les plus profondes du sol. Nous constatons que la diminution du taux d'humidité est très faible d'une semaine à une autre.

## **2.2. Effet du stress hydrique sur les 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 et / ou souterraine.

### **2.2.1. Longueur de la tige**

Durant la période d'arrêt d'arrosage la hauteur moyenne des tiges du traitement (T<sub>1</sub>) est de 28.23 cm, cette valeur est supérieure comparée au témoin, qui enregistre que 22.25 cm. Plus la durée de sécheresse est longue plus la longueur des tiges diminue jusqu'à atteindre une valeur faible de 15.66 cm pour le traitement (T<sub>3</sub>) après 21 jours de stress (**Figure15**).

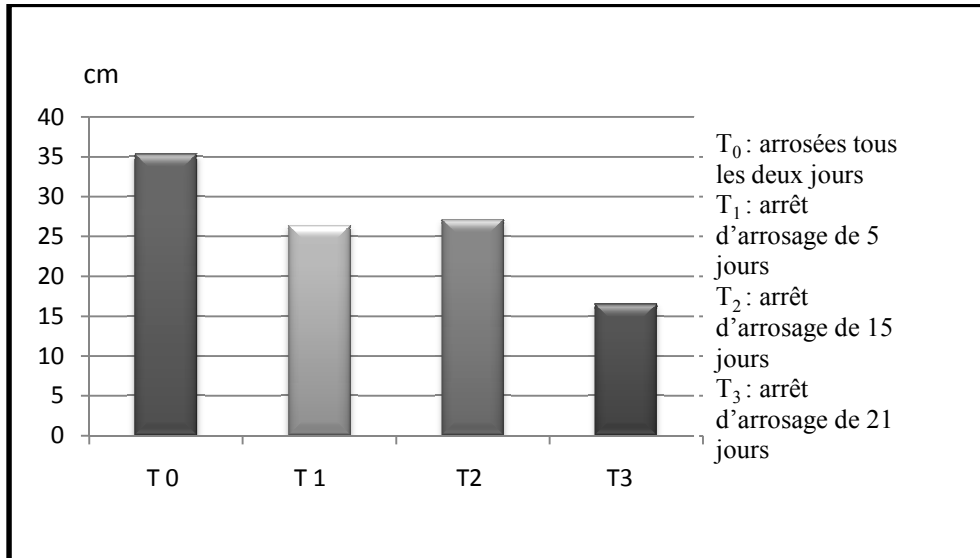


**Figure 15 :** Effet du stress hydrique sur la longueur de la tige.

Les résultats sont confirmés par l'analyse de la variance au seuil de 5%, qui montre qu'il y'a une différence significative entre les moyennes de la longueur de la tige ( $p=0.004$ ) (Annexe5).

### 2.2.2. Longueur de la racine

Durant la période d'arrêt d'arrosage la hauteur moyenne des racines du témoin T<sub>0</sub> est de 35.33 cm, elle est supérieure par rapport aux autres plantules stressées. Plus la durée de sécheresse est longue plus la hauteur des racines diminue jusqu'à atteindre une valeur très faible de 16.5 cm pour le traitement T<sub>3</sub> après 21 jours d'arrêt d'arrosage (Figure16)



**Figure 16** : Effet du stress hydrique sur la longueur de racine.

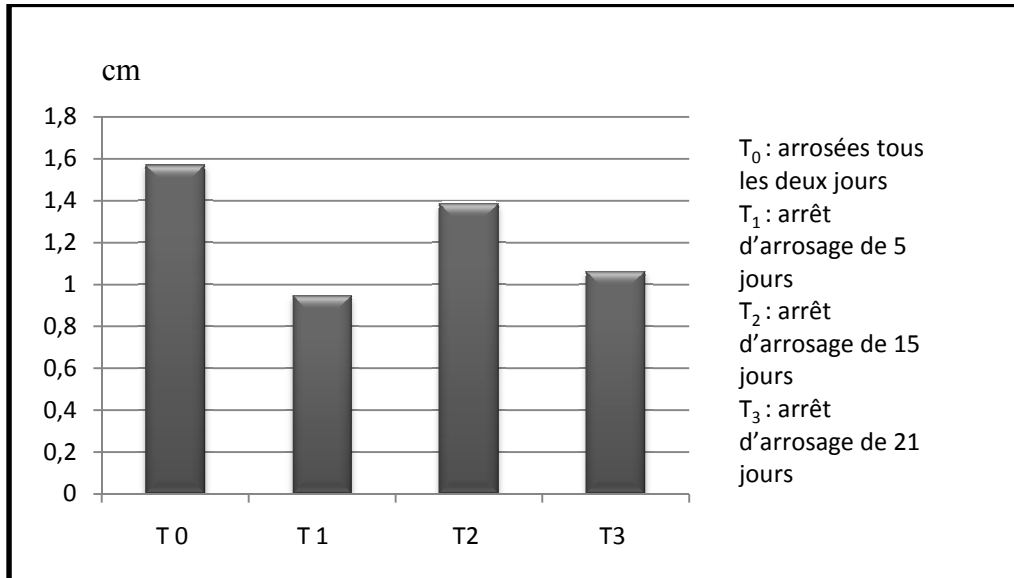
Les résultats sont confirmés par l'analyse de la variance au seuil de 5%, qui montre qu'il y'a une différence très hautement significative entre les moyennes de la longueur de la racine ( $p=0.000$ ) (**Annexe6**).

### 2.2.3. Rapport en longueur de racine/tige

L'analyse de l'effet de sécheresse sur la longueur des tiges et la longueur des racines est complétée par l'analyse du rapport en longueur racine/tige.

Le rapport de la longueur racine/tige diminue graduellement selon l'élévation de la période de sécheresse. Notons que la valeur enregistrée pour le témoin est de 1,55 cm. Ce rapport diminue jusqu'à atteindre 1,06 cm pour le traitement T<sub>3</sub> (21 jours sans arrosage).

L'analyse de la variance à un seul critère montre que il n'y a pas une différence significative ( $p>0.05$ ) pour le facteur traitements. Ceci montre qu'il n'y'a pas une différence marqué entre la croissance en longueur de la partie aérienne et celle de la partie racinaire (figure 17) et (**Annexe 7**).



**Figure 17** : Effet du stress hydrique sur le rapport racine/tige.

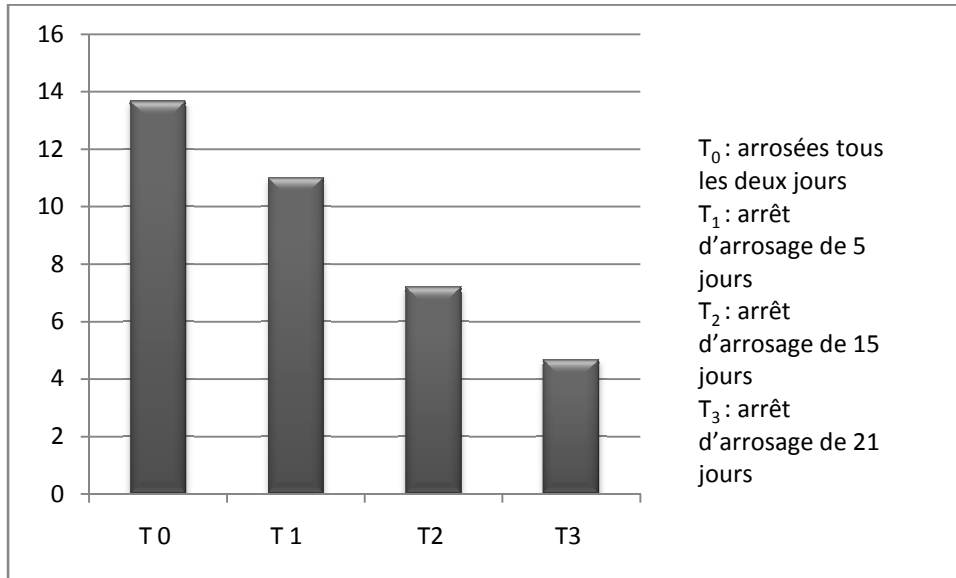
#### 2.2.4. Effet de stress hydrique sur le nombre de feuilles

L'application du stress hydrique aux plantules de *Pistacia vera*(L.) induit une variation de nombre de feuilles (**Figure18**).

Le témoin correspond à une augmentation de nombre moyen de feuilles observées qui avoisine les 14 feuilles. Une diminution de nombre de feuilles est observée à partir du 5<sup>ème</sup> jour de stress avec une moyenne de 11 feuilles et diminue jusqu'à 4 feuilles après 21<sup>ème</sup> jour de stress.

Ces résultats se confirment par le test statistique à l'aide de l'analyse de la variance au seuil de 5%. Cette dernière révèle que le comportement des plantules se traduit par le nombre de feuilles. Il dépend de l'intensité du stress hydrique imposée dans leur milieu ( $p=0.002$ ) (**Annexe 8**).





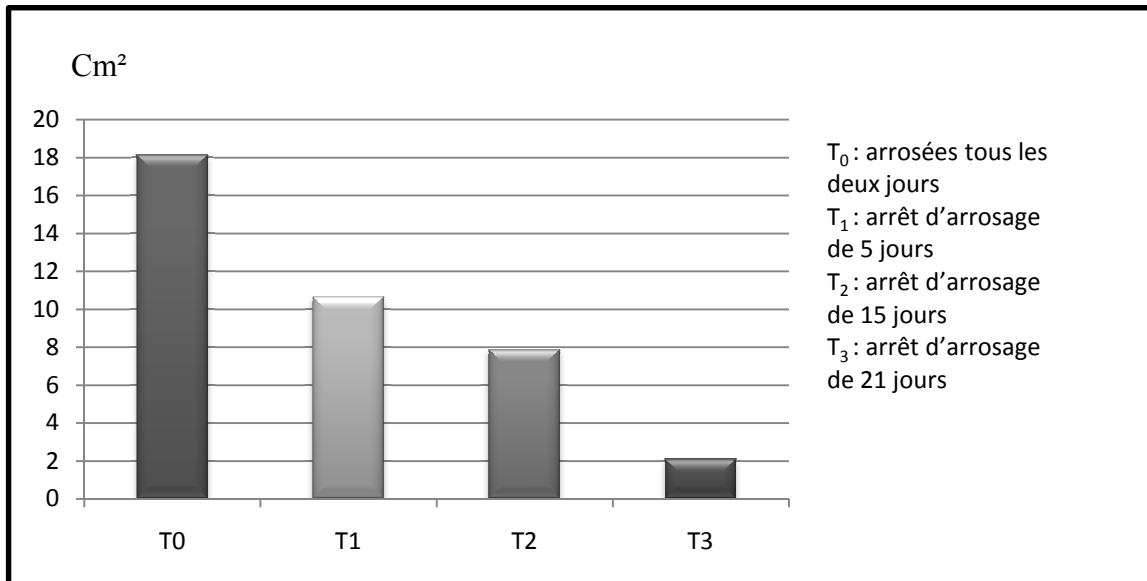
**Figure 18** : Effet du stress hydrique sur le nombre de feuilles.

### 2.2.5. Variation de la surface foliaire

Les plantules de pistachier vrai, présentent des variations de la surface foliaire selon les périodes de sécheresse. En effet plus la contrainte hydrique devient sévère, plus la surface foliaire diminue. Par ailleurs, la valeur maximale de la surface foliaire est observée chez les plantules témoins où nous enregistrons 18.14 cm<sup>2</sup>.

Les plantules stressées montrent que la surface foliaire diminue 5, 15 et 21 jours avec des valeurs moyennes respectives estimées à 10.66, 7.88 et 2.1 cm<sup>2</sup> (**Figure 19**).

Les résultats sont confirmés par l'analyse de la variance au seuil de 5%, qui montre qu'il y'a une différence très hautement significative entre les moyennes de la surface foliaire ( $p=0.000$ ) (**Annexe 9**).



**Figure 19** : Effet du stress hydrique sur la surface foliaire.

Les résultats sont confirmés par l'analyse de la variance au seuil de 5%, qui montre qu'il y'a une différence très hautement significative entre les moyennes de la surface foliaire ( $p=0.000$ ) (**Annexe 9**).

### Discussion

La tolérance à la sécheresse du pistachier vrai (*Pistacia vera*L.) a été étudiée à travers leur capacité de développement en manque d'eau.

Le stress hydrique limite le nombre moyen des feuilles et la longueur moyenne des tiges, avec une réponse variable selon la durée du stress induit. Ce paramètre traduit une limitation de l'accessibilité de la plante aux réserves en eau et en éléments nutritifs du sol. Cette caractéristique est en accord avec les résultats obtenus par [Simane *et al.*, (1993) et Ali Dib *et al.*, (1994)].

Le stress hydrique se concrétise, chez la plupart des espèces par un ralentissement de la mise en place de nouveaux organes aériens, notamment les feuilles, les tiges et par une réduction de la croissance des organes préexistants. Ces modifications résultent d'une diminution de la vitesse de division des cellules constituant les tissus végétaux (Granier *et al.*, 2000) et d'une modification des propriétés physico-chimiques des parois entourant les cellules, qui deviennent plus rigides, ce qui empêche leur croissance (Courtois, 2009).

Ces processus, à long terme limitent les surfaces d'échange entre la plante et l'air, et donc les pertes d'eau par transpiration. Les données récentes montrent que la réduction de la croissance n'est pas une conséquence passive du manque d'eau dans les cellules, mais une réponse contrôlée et programmée de la plante, dont le résultat est d'anticiper les événements sévères de stress hydrique. Cette réponse est donc préventive et non subit. Si la croissance des parties aériennes est altérée en cas de stress hydrique, celle des racines est moins touchée. En effet, la mise en place de racines profondes est privilégiée pour permettre à la plante d'accéder à des ressources en eau du sol plus profondes (**Wu et Cosgrove, 2000**).

Concernant la mesure de la longueur moyenne des racines principales, la diminution 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 adulte. 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.

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 réduire la longueur de leurs racines pour surmonter l'effet du stress hydrique provoqué par l'arrêt d'arrosage. Ces résultats comparés a 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 l'arrêt d'arrosage.

Selon **Lyunchk, (1993)** la longueur des racines est un critère important d'adaptation pour la tolérance à la sécheresse. En effet, les variétés qui développent un système racinaire important peuvent pomper l'eau à des profondeurs considérables ce qui leur permet de tolérer certaine périodes sèches.

Une diminution importante de la taille des feuilles de pistachier vrai (*Pistacia vera L.*) étudiés en fonction du degré du stress hydrique appliqué est observée.

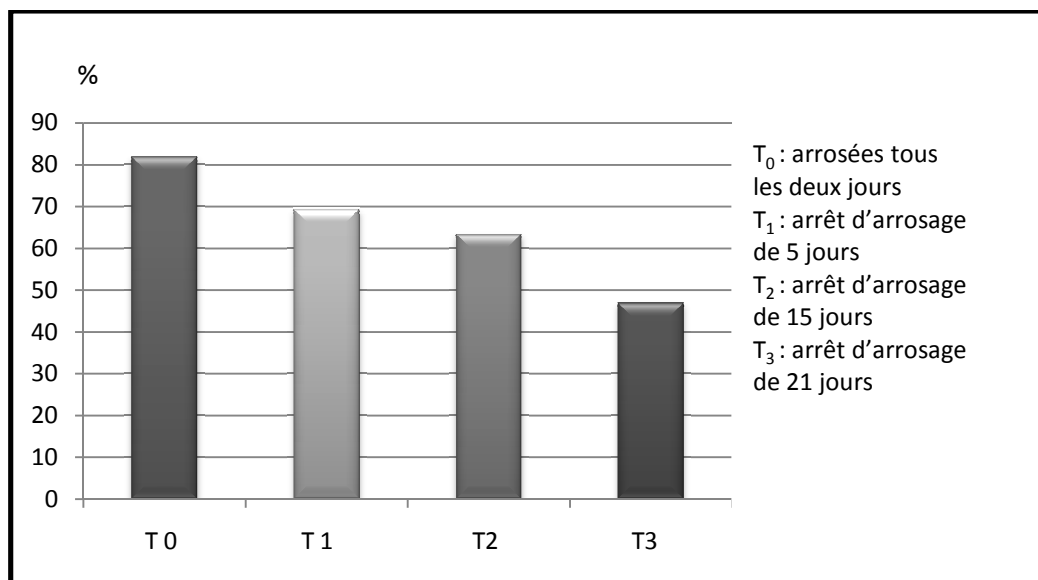
La surface foliaire est un déterminisme important de la transpiration. Une des premières réactions des plantes au déficit hydrique est de réduire la surface foliaire (**Lebon et al., 2004**). Le développement végétatif sous conditions limitantes d'alimentation hydrique est fortement perturbé (**Ferryra et al., 2004**). 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). La réduction de la surface foliaire des plantes sous stress hydrique diminue en fonction de la sévérité du stress. Selon **Heuer et Nadler, (1998)** le manque d'eau affecte de façon significative la hauteur des plantes et la surface foliaire de la pomme de terre. De même, une étude menée par **Penuelas et al., (1992)** sur la culture de la fraise sans serre montre que le déficit hydrique entraîne aussi une réduction de la surface foliaire. Ainsi, [**Chaves et al., (2000)** et **Ferryra et al., (2004)** et **Lebon et al., (2006)**] montrent que le développement végétatif de la vigne cultivée sous conditions limitantes d'alimentation hydrique est fortement perturbé.

### 2.3. Effet du stress hydrique sur les paramètres physiologiques

#### 2.3.1. Teneur Relative en Eau (TRE)

Durant une période de 21 jours d'arrêt d'arrosage, la moyenne de la teneur relative en eau la plus élevée est observée pour le témoin ( $T_0$ ) avec 81.85% par rapport aux autres plantules stressées après 5 jours d'arrêt d'arrosage ou nous enregistrons 69.29%. Un faible pourcentage est obtenu pour les plantules stressées après une période d'arrêt d'arrosage de 21 jours avec uniquement 46.91% (**Figure 20**).



**Figure 20** : Effet du stress hydrique sur la teneur relative en eau.

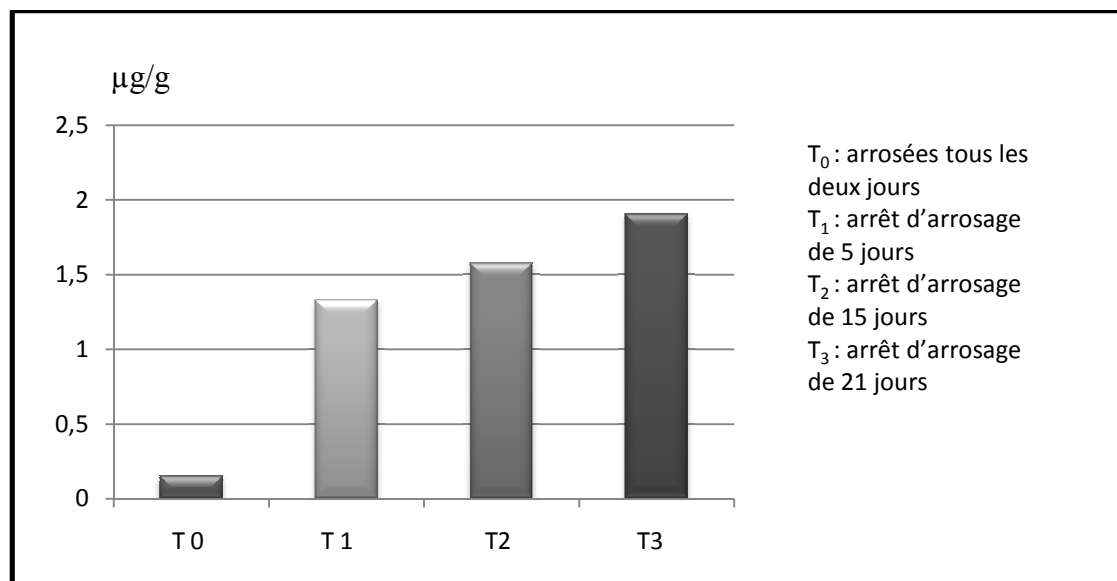
Ce résultat est confirmé par l'analyse de la variance à un seul critère de classification qui montre une différence très hautement significative entre les moyennes de teneur relative en eau (RWC) pour les différents traitements ( $p=0,000<0,001$ ) (**Annexe 10**).

### 2.3.2. Teneur en Chlorophylle

Les résultats obtenus montrent que le stress hydrique influe sur la moyenne de la teneur en chlorophylles (a), (b) et (c) chez le pistachier vrai (*Pistacia vera L.*).

#### 2.3.2.1 Chlorophylle (a)

Un traitement de 21 jours d'arrêt d'arrosage ( $T_3$ ) provoque une augmentation très importante de la teneur en chlorophylle (a) avec  $1,91 \mu\text{g/g MF}$  par rapport au témoin ( $T_0$ ) ou nous enregistrons  $0,15 \mu\text{g/g MF}$ . Les autres plantules stressées  $T_1$  (5 jours) est  $T_2$  (15 jours) présentent des valeurs inférieures avec respectivement de :  $1,33$  est  $1,58 \mu\text{g/g MF}$  (**Figure21**).



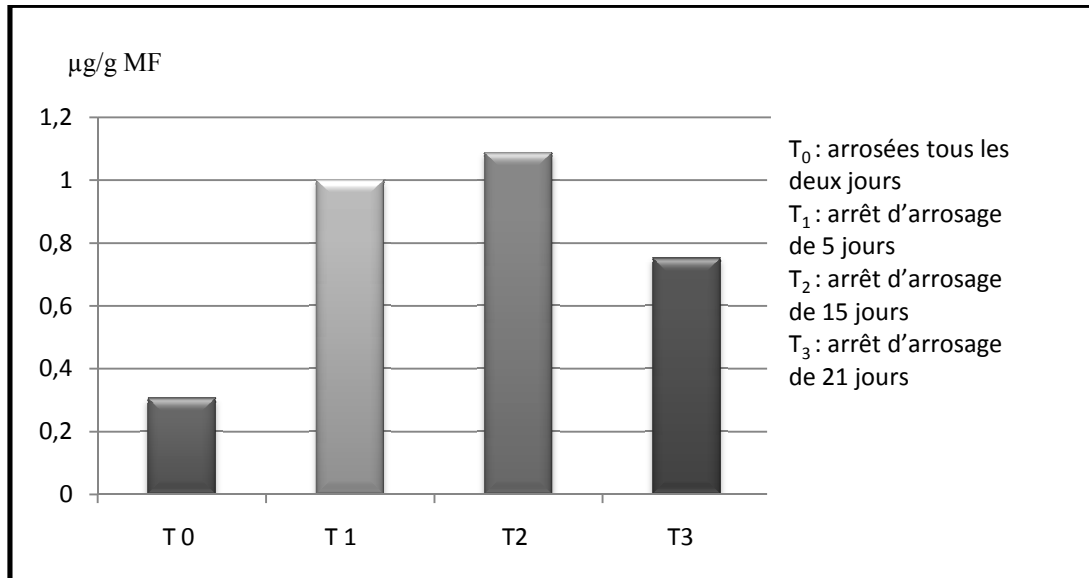
**Figure 21** : Effet du stress hydrique sur la teneur en chlorophylle (a) ( $\mu\text{g/g MF}$ ).

Le stress hydrique induit de grandes variations de la teneur en chlorophylle (a). L'analyse de la variance à un critère de classification confirme ces résultats et montre qu'il y a une différence significative des moyennes ( $P<0,005$ ) (**Annexe11**).

#### 2.3.2.2. Chlorophylle (b)

Les moyennes les plus élevées de la teneur en chlorophylle (b) sont enregistrées pour les traitements T<sub>1</sub> (1 µg/g MF), T<sub>2</sub> (1,09 µg/g MF) et T<sub>3</sub> (0,75 µg/g MF) comparées au témoin (T<sub>0</sub>) ou nous enregistrons que 0,31 µg/g MF (**Figure 22**).

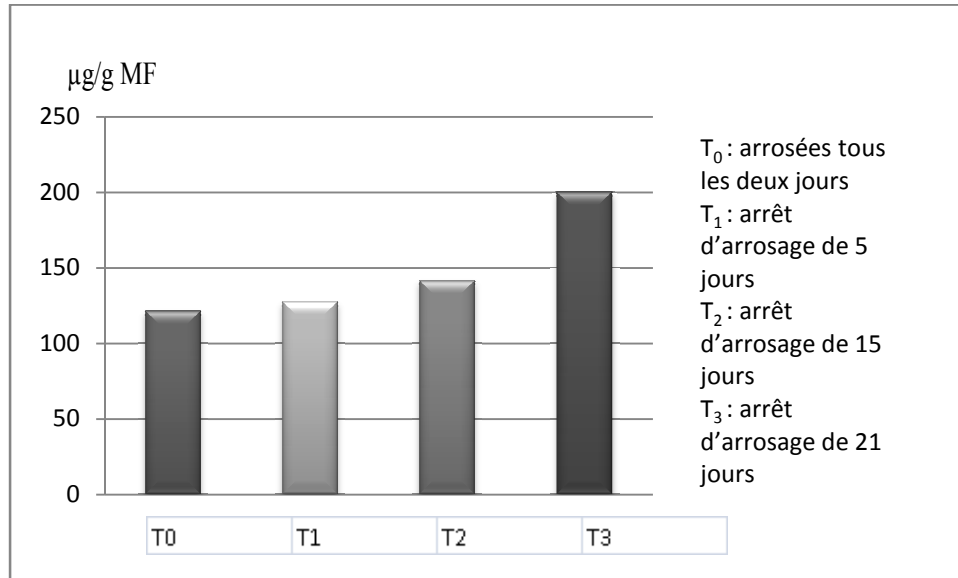
Le stress hydrique induit de grandes variations de la teneur en chlorophylle (b). L'analyse de la variance à un critère de classification confirme ces résultats et montre qu'il y a une différence significative des moyennes (P=0,003) (**Annexe 12**).



**Figure 22** : Effet du stress hydrique sur la teneur en chlorophylle (b).

### 2.3.2.3. Chlorophylle (c)

Un traitement de 21 jours d'arrêt d'arrosage (T<sub>3</sub>) provoque une augmentation très importante de la teneur en chlorophylle (c) avec 200 µg/g MF par rapport au témoin (T<sub>0</sub>) ou nous enregistrons 125.74 µg/g MF. Les autres plantules stressées T<sub>1</sub> (5 jours) est T<sub>2</sub> (15 jours) présentent des valeurs inférieures avec respectivement de : 129.6 µg/g MF est 147,16 µg/g MF (**Figure 23**).



**Figure 23 :** Teneur en chlorophylle (c).

Le stress hydrique induit de grandes variations de la teneur en chlorophylle (c). L'analyse de la variance à un critère de classification confirme ces résultats et montre qu'il y a une différence significative des moyennes ( $P=0,000$ ) (**Annexe 13**).

### Discussion

Les plantes sont capables de mettre en place toute une série de réponses physiologiques leur permettant d'agir sur leur propre état hydrique dans le but de s'adapter aux conditions environnementales, de limiter les effets du stress sur leur métabolisme, et tout simplement d'assurer leur survie et leur reproduction (**Gaufichon et al., 2010**).

Le manque d'eau est un élément déterminant pour la croissance des plantes, particulièrement en région 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.

Le stress hydrique appliqué lors de notre expérimentation a provoqué une forte diminution de la teneur relative en eau de pistachier vrai (*Pistacia vera L.*), étroitement associée à la capacité d'ajustement osmotique. L'analyse de la teneur relative en eau (TRE), permet de décrire d'une manière globale le statut hydrique en réponse au stress hydrique, et d'évaluer l'aptitude à réaliser une bonne osmo-régulation, et maintenir une turgescence cellulaire (**El Jaafari, 2000**). Cette chute du

pourcentage d'eau (RWC) présent au niveau des feuilles devient de plus en plus nette au fur et à mesure que le niveau de stress s'accroît. Ce résultat est confirmé par ceux obtenus par [El Mourid (1988) et Casals (1996)] qui ont également signalé que l'effet dépressif de la carence en eau sur l'état hydrique de la plante peut être irréversible, si la période de stress est prolongée.

La teneur relative en eau est un indicateur très utilisé pour mettre en évidence l'état de la balance hydrique d'une plante. **Matin et al., (1989)** suggère que les espèces qui arrivent à maintenir une teneur relative en eau élevée sous stress hydrique sont des espèces les plus tolérantes à la sécheresse. Ainsi **Levit, (1980)** constate que la capacité de maintenir un potentiel hydrique élevé a été considéré comme un mécanisme qui permet à la plante d'éviter la déshydratation. Ainsi, ces résultats indiqueraient que la teneur relative en eau serait un outil de comparaison ou un critère de sélection pour la tolérance à la sécheresse. Des travaux réalisés par [Morgan, (1984) et Bennaceur, (1994) et Nouri, (2002)] sur différents types de plants soumis à des stress hydriques d'intensités différentes, ont confirmé qu'effectivement au niveau de ces derniers, la mise en place de certains mécanismes de tolérance à la sécheresse tel que l'ajustement osmotique a été relevé.

La teneur relative en eau ou turgescence foliaire est une caractéristique génotypique qui est liée à la capacité de la plante à maintenir un niveau d'eau dans la feuille. Cette capacité est liée aux possibilités de la plante à s'alimenter, de manière constante en eau (système racinaire), au contrôle des pertes d'eau par les surfaces évaporantes (nombre et diamètre des stomates, résistance stomatique à la sortie de la vapeur d'eau) et à l'ajustement osmotique (**Araus et al., 2003**).

**CORNIC et al., (2000)** estiment que la survie des plantes au manque d'eau est en grande partie due à l'entretien de la capacité photosynthétique des feuilles.

L'augmentation de la teneur en chlorophylle notée chez le pistachier vrai (*Pistacia vera L.*) quand il est moins arrosé, serait probablement la conséquence de la réduction de la taille des cellules foliaires sous l'effet du stress hydrique qui engendre une plus grande concentration (**Siakhene, 1984**). Cette hypothèse est renforcée par la réduction de teneur relative en eau des feuilles et de la surface foliaire chez cette espèce (**Guettouche, 1990**).

La quantité de la chlorophylle des feuilles peut être influencée par beaucoup de facteurs tels que l'âge des feuilles, la position des feuilles sur le rameau, et les facteurs



environnementaux tels que la lumière, la température et la disponibilité en eau (**Hikosaka et al., 2006**).

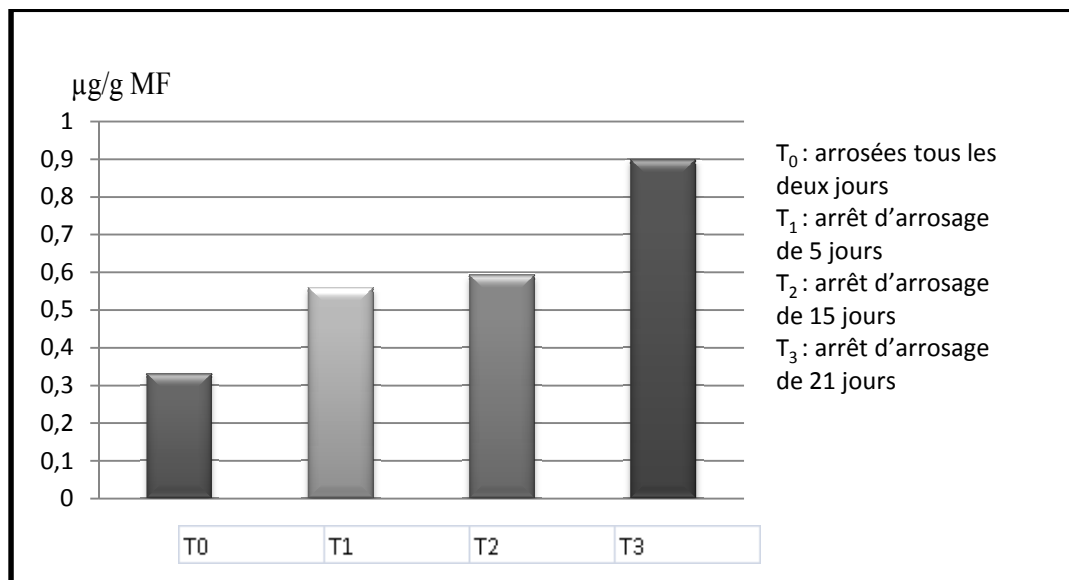
La chute des teneurs en chlorophylles est la conséquence de la réduction de l'ouverture des stomates visant à limiter les pertes en eau par évapotranspiration et par augmentation de la résistance à l'entrée du CO<sub>2</sub> atmosphérique nécessaire à la photosynthèse (**Bousba et al., 2009**).

## 2.4. Effet du stress hydrique sur les paramètres biochimiques

### 2.4.1 Teneur en proline

#### 2.4.1.1. Teneur en proline des feuilles

L'arrêt d'arrosage de 21 jours montre que la moyenne de la teneur en proline est de 0,9µg/g MF. Cette valeur est supérieure à la valeur enregistrée chez les plantules témoins (T<sub>0</sub>) avec 0,33µg/g MF. Les traitements (T<sub>1</sub>) et (T<sub>2</sub>) enregistrent respectivement 0,56µg/g MF et 0,6µg/g MF (**Figure 24**).

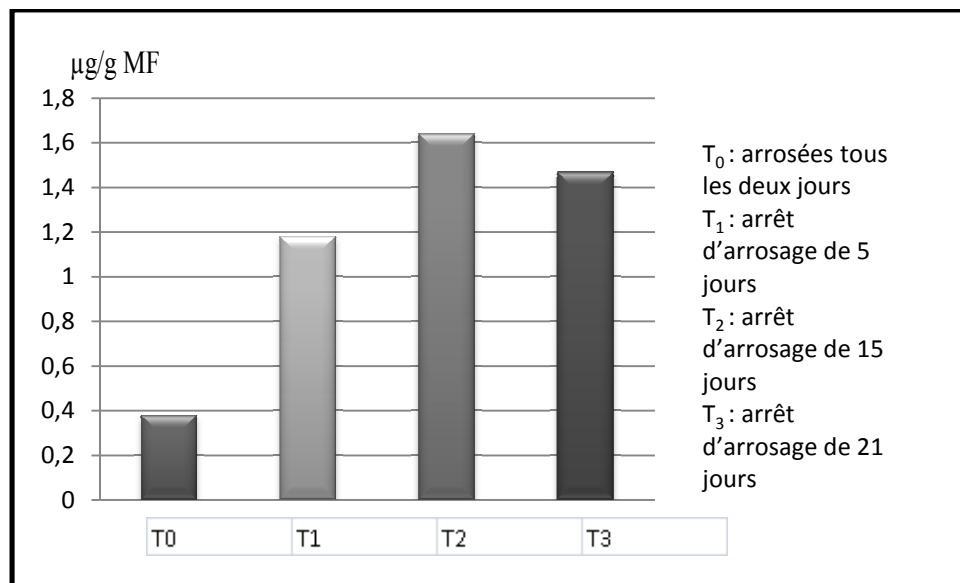


**Figure 24** : Effet du stress hydrique sur la teneur en proline des feuilles.

Ce résultat est confirmé par l'analyse de la variance à un seul critère de classification qui montre une différence très hautement significative entre les moyennes pour les différents traitements ( $p=0,000<0,001$ ) (**Annexe 14**).

### 2.4.1.2. Teneur en proline des tiges

Chez le *Pistacia vera*(L.), l'accumulation de la proline, dans les tiges augmente progressivement avec l'intensité du stress hydrique. La teneur en proline enregistrée est de 1.18, 1.64 et 1.47 $\mu\text{g/gMF}$  respectivement après arrêt d'arrosage de 5, 15 et 21 jours comparée au témoin qui ne contient que 0,38  $\mu\text{g/gMF}$  (**Figure 25**).



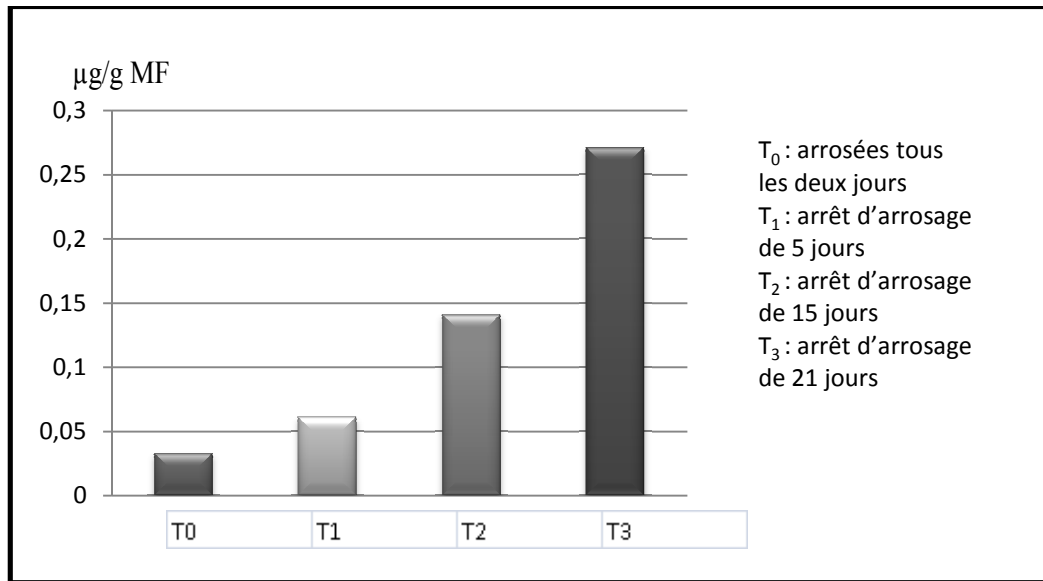
**Figure 25** : Effet du stress hydrique sur la teneur en proline des tiges.

Ce résultat est confirmé par l'analyse de la variance à un seul critère de classification qui montre une différence très hautement significative entre les moyennes pour les différents traitements ( $p=0,000<0,001$ ) (**Annexe 15**).

### 2.4.1.3. Teneur en proline des racines

Les résultats obtenus montrent que, le témoin synthétise la plus faible quantité de proline avec une moyenne de 0,033  $\mu\text{g/g}$  de matière fraîche. Cependant, la synthèse de cette proline augmente chez les autres plantules stressées pour atteindre une valeur moyenne de 0,06  $\mu\text{g/g M.F}$ , 0,14  $\mu\text{g/g M.F}$  et 0,27  $\mu\text{g/g M.F}$  respectivement par les traitements T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> e T<sub>3</sub> (**Figure 26**).

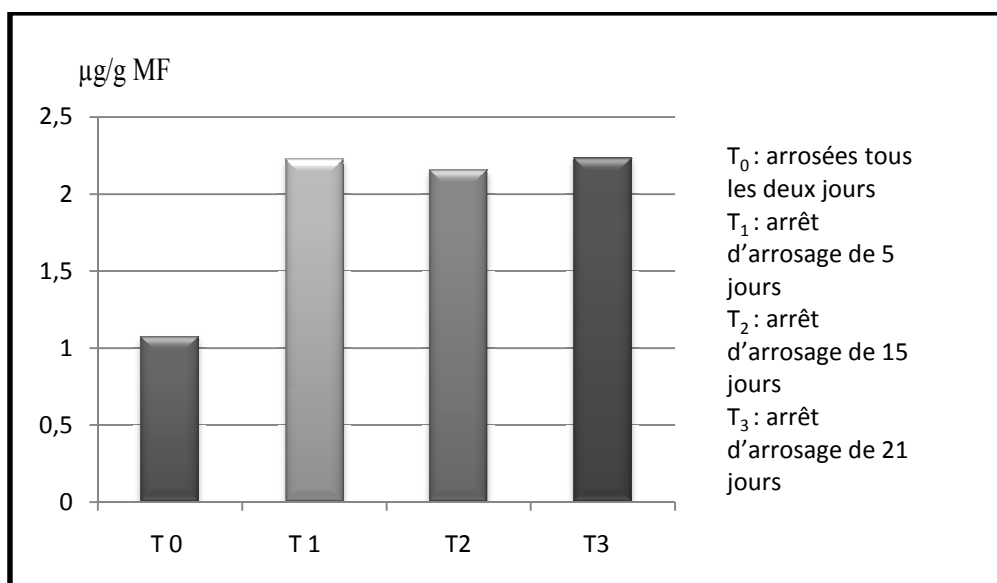
L'analyse de la variance à un seul critère de classification montre une différence hautement significative pour le facteur traitement ( $p=0,004$ ) (**Annexe 16**).



**Figure 26** : Effet du stress hydrique sur la teneur en proline des racines.

#### 2.4.2. Teneur en sucres solubles des feuilles

Les résultats obtenus, montrent que les teneurs en sucres dans les feuilles sont très voisines au niveau des traitements conduits. L'arrêt d'arrosage de 21 jours montre que la moyenne de la teneur en sucres est de  $2,23\mu\text{g/g MF}$ . Cette valeur est supérieure à la valeur enregistrée chez les plantules témoins ( $T_0$ ) avec  $1,07\mu\text{g/g MF}$ . Les traitements ( $T_1$ ) et ( $T_2$ ) enregistrent  $2,22\mu\text{g/g MF}$  et  $2,15\mu\text{g/g MF}$ (**Figure27**).



**Figure 27** : Effet du stress hydrique sur la teneur en sucres solubles.

L'analyse de la variance à un critère de classification montre une différence hautement significative de moyenne ( $P < 0,001$ ) pour la teneur en sucres solubles des feuilles (**Annexe17**).

### **Discussion**

Cette forte synthèse de la proline est un signe de tolérance au manque d'eau dans le sens où il y a eu un taux de proline nettement plus élevé chez les trois traitements par rapport au témoin où les plantules n'ont pas été stressées. Cette réaction s'amplifie avec la durée de la contrainte hydrique. Le processus de concentration de la proline dans les tissus foliaires des plantes stressées est reconnu comme une caractéristique d'adaptation [**Deraissac, (1992) et Kameli et Losel, (1995)**]. C'est une composante non moins importante de l'ajustement osmotique observé chez de nombreuses espèces cultivées comme le blé (**Adjab, 2002**) ainsi que chez la luzerne (**Mefiti et al., 2000**).

La détermination de la teneur moyenne en proline du pistachier vrai montre une augmentation significative chez les feuilles, les tiges et les racines isolées, comparativement aux témoins. Cette accumulation est importante en fonction de la sévérité du stress. Ce résultat est en conformité avec les recherches de plusieurs auteurs dont **Gorham, (1993)**. Ainsi, cette accumulation, a été démontré chez de nombreuses variétés de blé et dans plusieurs types de stress (osmotique, thermique) (**Ober et Sharp, 1994**).

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 (**Savouré 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**).

Cependant, **Claussen (2005)** en travaillant sur la tomate, en condition de stress hydrique, suggère que l'accumulation de la proline serait due soit à une induction ou activation de l'enzyme impliquée dans la biosynthèse de la proline.

La déshydratation passive des cellules des plants testés a induit une perte de turgescence à l'échelle cellulaire. Pour pallier à ce phénomène le végétal essaye de limiter les pertes en eau qui est traduite par diminution de la transpiration suite à une fermeture des stomates [**Ykhlef, 2001 et Nouri, 2002**].

L'application du stress hydrique a provoqué une accumulation de sucres chez la plupart des plantules étudiés. Les plantes ont toujours des teneurs plus élevées en glucides solubles totaux lorsqu'elles se développent dans des conditions de sécheresse (**Mafakheri et al., 2010**).

Ce résultat est en accord avec ceux de certains chercheurs dont **Ben Abdellah et Ben Salem, (1993)**. En effet, les sucres même s'ils représentent des osmotocums beaucoup moins puissants, ils participent eux également au maintien de la balance de la force osmotique pour garder la turgescence et le volume cytologique aussi élevés que possible (**Bouzoubaa et al., 2001**). Ils permettent également une préservation de l'intégrité membranaire dans les organes desséchés ainsi qu'une protection des protéines (**Darbyshire, 1974**).

L'accumulation simultanée ou non de ces deux solutés suivant la variété et le degré de stress permet aux plantes de supporter le manque d'eau, en maintenant leur turgescence relative foliaire moins perturbée que possible et leur intégrité cellulaire préservée (**Bensalem, 1993**).

Le processus de concentration des sucres solubles et / ou de la proline dans les tissus foliaires des plantes stressées est reconnu comme une caractéristique d'adaptation (**Kameli et Losel, 1995**). C'est une composante non moins importante de l'ajustement osmotique observée chez de nombreuses espèces cultivées comme le blé (**Adjab, 2002**) ainsi que chez la luzerne (**Mefiti et al, 2000**). L'ajustement osmotique apparaît aujourd'hui comme un mécanisme majeur d'adaptation à la sécheresse (**Monneveux et Thise, 1997**).

La germination des graines du pistachier vrai a présenté des réponses variables selon la durée de traitements. Les expériences ont montré que les variations des réponses des graines via ces traitements sont dues à la dormance.

Afin d'améliorer la vitesse de germination de ces graines, il a été nécessaire de limiter ce problème de dormance des graines à l'aide d'un prétraitement avec la scarification chimique pendant 15, 30, et 60 minutes.

Cependant, les résultats obtenus au cours de ce travail, montre que le meilleur traitement pour éliminer la dormance est de scarifier les graines pendant 15 minutes dans l'acide sulfurique à 96° où nous enregistrons 70% de graines germées. Il ressort aussi que, le plus faible taux de germination présenté par les graines de *Pistacia vera* (L.) et enregistrer chez le témoin avec un taux faible de 46%.

De plus, les résultats relatifs à la hauteur des tiges après un mois de semis des plantules, relèvent aussi que la hauteur des tiges la plus élevée est notée chez les plantules trempées dans l'acide sulfurique pendant 30 minutes (T<sub>2</sub>) comparée au témoin.

Néanmoins, un tel résultat montre, qu'il serait possible de relier le comportement germinatif des graines du pistachier vrai à sa variabilité génétique et à son écologie.

L'effet de la sécheresse chez *Pistacia vera* (L.) s'est traduit par des modifications morphologiques, biochimiques et physiologiques pour augmenter l'absorption d'eau et/ou pour diminuer la transpiration.

Concernant la tolérance, le pistachier vrai a montré une grande résistance au déficit hydrique manifesté par le développement d'un appareil aérien et racinaire moins importants.

Une diminution de la croissance des plantules stressées pendant 5 jours est observée avec des valeurs inférieures aux témoins. Après une durée de 25 jours de stress une baisse de la croissance est observée en termes de stratégies d'adaptation conditionnée à la contrainte hydrique telle que la diminution de la longueur des tiges et racines, nombre de feuilles, teneur relative en eau et la surface foliaire.

D'autre part, les plantules ont réduit leurs teneurs relatives en eau, à chaque fois que la durée de la contrainte hydrique s'allonge.

Notons que durant la période du 21jour d'arrêt d'arrosage les plantules de pistachier vrai ont réagi par une augmentation de la synthèse de fluorescences chlorophylliennes (a, b et c) jouant un rôle biologique primordial dans la photosynthèse, phénomène essentiel dans la croissance des plantes. Les valeurs obtenues correspondent à 1,9 µg/g de MF de chlorophylle (a), 0,75 µg/g de MF de chlorophylle (b) et 147,16 µg/g de MF de chlorophylle (c).

Les teneurs en sucres solubles et en proline ont été significativement accumulées en fonction du stress hydrique. Elles ont mis en évidence le caractère halophyte de l'espèce qui exprime sa capacité de synthétiser et accumuler les sucres solubles et la proline. Les résultats auxquels nous sommes parvenus indiquent que ces deux paramètres sont affectés par le stress hydrique.

Etant donné les intérêts que présente le pistachier vrai, il est important de le protéger, de le sauvegarder et de le valoriser, donc sa réhabilitation et sa conservation sont nécessaires pour contribuer au développement durable des zones arides et semi-arides.

### **Perspectives**

- Il serait souhaitable de réaliser une étude génétique sur les graines du pistachier vrai pour mieux comprendre ses variabilités de réponses capacité à s'adapter aux zones arides et semi- arides.
- Dans le cadre d'un travail futur, de faire varier les périodes de stress, pour déceler plus des symptômes de dépérissement notamment le dessèchement des plantules.
- Cette étude doit être soit complétée et approfondie par d'autres expérimentations afin de mieux connaître les gènes responsables du mécanisme de tolérance aux conditions environnementales dans les zones semi-arides et arides.
- Etudier les effets thérapeutiques du pistachier vrai.

## A

**Abdesselem, S., (2000).** Inventaire de l'entomofaune d'une espèce de pistachier (*Pistacia atlantica* Desf.) dans la région de Djelfa. Mémoire Ing. Agro. Univ. Djelfa, 92 P.

**Acar, I., Ak, B.E., Huzdere, H., (2006)** "An Investigation on Artificial Pollination Facilities in Pistachios by using an Atomizer". Pist. Research Institute Turkey Dep. O. Hort. Fac. O. Agri. Univ. of Harran. Turkey, 148 P.

**Adjab M., 2002.** Recherche des traits morphologiques, physiologiques et biochimiques d'adaptation au déficit hydrique chez différents génotypes de blé dur *Triticum durum* Desf, Mémoire de magistère, faculté des sciences, Université Badji Mokhtar, Annaba, 84 p.

**Albouchi A., Sebei H., Mezni M. Y. & 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. 4: 138- 61PP.

**Aleta, N., Ninot A., Rouskas O D., Zakithinos G., Avanzato O. et Mendes A. (1996)** : Producción de plantas de terebinto (*Pistacia terebinthus*) en contenedor. Inv. Agr. (suos presse) , (121-132) PP.

**Aleta N. ; Ninot A. ; Rouskas D. ; Zakithinos G.; Avanzato D. et Mendes Gaspar A., (1997)** : La multiplication du Pistachier. Option méditerranéenne amélioration d'espèces à fruits à coque noyer, Pistachier série B: Etudes et recherches n°16 Editeur scientifique ; F. Germain. 327P.

**Ali Dib, T., Monneveux, P., Araus, J., (1992).** Agronomie. 12. 381-393 PP.

**Ali Dib, T., Monneveux, P., Acevedo, E. et Nachit, M.M., (1994).** Evaluation of proline analysis and chlorophyll fluorescence quenching measurements as drought tolerance indicators in durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum). Euphytica, 79 : 65-73PP.

**Alyafi, J., (1978)** "New characters differentiating *Pistacia atlantica* subspecies". Candollea 33. 201-208PP.

**Anonyme., (1979).** Les légumineuses fourragères: la luzerne (*Medicago sativa*), rev. *Céréaliculture*, 27-31 PP.

**Anonyme, (1981)** : Dictionnaire agricole .Ed ; La librairie Larousse .Paris . 356p.

**Anonyme., 1985** – Contribution à l'étude de la biologie florale du pistachier fruitier *Pistacia vera* (L.), 87 P.

**Anonyme, (1993)** : Mémento de l'agronomie. 4<sup>ème</sup> édition (Reimpression) , 715P.

**Anonyme. (2006).** Les marchés mondiaux du blé. USDA. [http://www.agpb.com/fr/dossier/eco/marchesmondiaux\\_2006.pdf](http://www.agpb.com/fr/dossier/eco/marchesmondiaux_2006.pdf). (25.05.2008/11:37).

**Anonyme ,(2009)** , <http://www.Ars.Usdz.gov/nutrientdata>



**Araus J.L., Villegas D., Aparicio N., Garcia del Moral .L.F., El Hani S., Rharrabti Y., Ferrio J.P., Royo C., (2003).** Environmental factors determining carbon isotope discrimination and yield in durum wheat under Mediterranean conditions. *Crop Science* 43, 170–180PP.

**Attia F., (2007).** Effet du stress hydrique sur le comportement écophysologique et la maturité phénotypique de la vigne (*Vitis vinifera*L.) : Etude de cinq cépages autochtones de Midi-Pyrénées. Thèse INP, Toulouse, France, 194 P.

**Aylor, D.F., (2003)** “Rate of dehydration of Corn Pollen in the Air”.*J. of Experimental Botany*, 54, 2307-2312.

## **B**

**Bajji M. (1999).** Étude des mécanismes de résistance au stress hydrique chez le blé dur : caractérisation de cultivars différant par leurs niveaux de résistance à la sécheresse et de variants somaclonaux sélectionnés In vitro. Thèse de doctorat. Univ . Louvain.

**Bajji M., Lutts S. & Kinet J-M. (2001).**Water deficit effects on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf ageing in three durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars performing differently in arid conditions. *Plant Sci.* 160 : 669 -681P.

**Barghchi, M. et Alderson, P.G. (1989).** Pistachio (*Pistacia vera* L.) Dans : *Biotechnology in Agriculture and Forestry*. Vol. 5. Trees II. Bajaj, Y.S.P. (ed.). PP. 68-98.

**Barnetts, N.M. et Naylor, A.W., (1966).** Amino acids and protein metabolism in bermuda during water stress. *Plant Physiol.* 41. 1222 -1230.

**Barone, E., and Caruso, T., (1996)** “Genetic diversity within *P. vera* in Italy”. In: Padulosi S., Caruso T., and Barone E., *Taxonomy, Distribution, conservation and uses of Pistacia genetic resources*. Report of a workshop, 29-30 June 1995, Palermo, Italy. International Plant Genetic Resources Institute, Rome Italy, 20-28PP.

**Barrs H. (1968).** Determination of water deficit in plant tissues. In: *Water Deficit and Plant Growth*. Koslowski T. Academy Press. New York. 235-368 PP.

**Basirat, M., Mehrnejad, M.R., (2009)** “ The study of population density of natural enemies on common pistachio psylla, *Agonoscena pistaciae* in Iran”.International symposium on pistachios & almonds, 98.

**Battle, I., F. J. Vargas and M. A. Romero. (1996)** “Natural occurrence , conservation and uses of *Pistacia* species in Spain”. 42-45PP.

**Beede, R.H. et Ferguson, L. (1995).** Planting and training young trees. Dans : *Pistachio Production*, Ferguson, L. (éd.). University of California, pp. 57-59.

**Belhadj S, (1999)-** Pistachio situation in algeria. F.A.O. ciheam Nucis newsletter, 8 : Pp 29-30

**Ben Abdallah, N. et Ben salem, M., (1993).** Paramètres morphophysologiques de sélection pour la résistance à la sécheresse des céréales. INRA. Montpellier. 266 P.

**Bengston, C., Klockare, B., Klockare, R., Larsson, S. and Sundquist, C., (1978).** The after effect of water stress on chlorophyll formation during greening and the level of abscisic acid and proline in dark grown wheat seedlings. *Plant Physiol.* 43: 205- 212 PP.

**Benmahioul, B. (2009)** Amélioration de la micropropagation in vitro du pistachier (*Pistacia vera* L.) en vue de l'extension des vergers en Algérie. Thèse de Doctorat Es Sciences, Université des Sciences et de la Technologie - Oran. 129P.

**Bennaceur M., (1994).** Contribution à l'évaluation du degré de résistance aux contraintes hydriques (sécheresse et excès d'eau) chez l'orge (*Hordeum vulgare* L.) et la fétuque (*Festuca arundinacea* Schreb.). Thèse de doctorat d'état, PP 1 -13.

**Bensalem M., (1993).** "Etude comparative de l'adaptation à la sécheresse du blé, de l'orge et du triticale", Ed INRA, Paris, colloque n°64, 276-297PP.

**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.

**Bernard R. (2006).** L'eau et la vie. (éd). Dauphin. Paris : 13- 59 P.

**Binet, P., (1989).** Métabolisme et adaptation des végétaux supérieurs aux contraintes hydriques, thermiques et salines. *Bull. Ecol.* T.20.1 : 41-49PP.

**Bonhert, H.J., Nelson, D.E., and Jensen, R.G., , (1995),** "Adaptation to the environmental stress", *Plant Cell* 7: 1099-1111.

**Boudy, P., (1952).** Guide du forestier. Ed. La maison rustique, Paris, 505 PP.

**Bousaba R., (2001).** Effets d'une contrainte abiotique (stress hydrique) sur la plante et les composants de la graine de *Vicia faba* L. (Leguminosae). Thèse de magister : Les bases biologiques de la production végétale, 43- 44PP.

**Bousba R., Ykhlef N. & Djekoun A. (2009).** Water use efficiency and flag leaf photosynthetic in response to water deficit of durum wheat (*Triticum durum* Desf). *World Journal of Agricultural Sciences* 5: 5: 609 -616 P.

**Bouzoubaa, Z., El Mourid, M., Karrou, M., et El Gharous, M., (2001).** Manuel d'analyse chimique et biochimique des plantes. INRA. Maroc.

**Bootsma A., Boisvert J.B., Dejong R. & Baier W. (1996).** La sécheresse et l'agriculture canadienne. *Sécheresse* : 277 - 285 P.

**Boyer J.S. (1982).** Plant productivity and environment. *Sci, New series.* 218: 443 - 448 P.

**Braam J., Sistrunk M., Polisensky D.H., Xu W., Purugganan M.M., Antosiewicz D.M., Campbell P. & Johnson K.A. (1997).** Plant responses to environmental stress: regulation and functions of the Arabidopsis TCH genes. *Planta.* 203 : 35 - 41 P.

**Brodribb, T. J and Holbrook, N. M., (2003).** Stomatal Closure during Leaf Dehydration, Correlation with Other Leaf Physiological Traits. *Plant Physiology* .132: 2166-2173.

**Brown, S.C., Gregory, P.J., Wahbi, A., Srivastava, J.P., Porceddu, E., Acevedo, E., Varma, S., (1985).** Drought tolerance in winter cereals. Proceedings of the international workshop, Capri, Italy. 27-31 PP.

## C

**Cai H., Biswas D.K., Shang A.Q., Zhao L.J. & Li W.D. (2007).** Photosynthetic response to water stress and changes in metabolites in *Jasminum sambac*. *PHOTOSYNTHETICA* 45.4: 503 – 509 PP.

**Campalans A.; Messegueur R., Goday A. & Pagès M. 1999.** Plant responses to drought, from ABA signal transduction events to the action of the induced proteins. *Plant Physiol. Biochem.* 37. 5:327 - 340 p.

**Campbell, J , 1995** winter chill fruit trees for warmer districts the 6<sup>th</sup> conference of alien council on tree and nut corps, Inc. Lismore, NSW, Australie , 11-15 Sept.

**Casals, M.L., 1996.** Introduction des mécanismes de résistance à la sécheresse dans un modèle dynamique de croissance et de développement du blé dur. Thèse de Doctorat de l'INRA Paris Grignon. 93 pages.

**Castillo, R.O., (1995)** "Plant genetic resources in the Andes: impact, conservation, and Management". *Crop Science* 35, 355-360. Germplasm Collected in Mediterranean

**Chakraborty U., Dutta S and Chakraborty B. N., 2002.** Response of tea plants to water stress. *Biologia Plantarum*, pp 557 – 562.

**Chatibi A., KCHOUK M.L., MLIKI A. et GHORBEL A., 1998 –** Microgreffage du pistachier (*Pistacia vera* L.) cv. Mateur. Pp : 121 – 138, ci té dans Cahiers options méditerranéennes. Xème colloque du Grempa sur le pistachier et l'amandier, 14 - 17 octobre 1996, Zaragoza, Vol . 33, 237 p

**Chatibi, A., Kchouk, M.L., Ben Abdallah, Zemni, H. et Ghorbel, A. (1995).** Rooting improvement of *Pistacia vera* L. CV. Mateur by in vitro culture of apices and cuttings. *Acta Horticulturae*, 419 : 21 3-21 9.

**Chaves, M.M., Osório, M.L., Osório, J., Pereira, J.S., 2000.** Non stomatal limitation of photosynthesis under high temperature and water deficits in *Lupinus albus*. *Photosynthetica* 27: 521–528

**Chaves M.M., Pereira J.S., Maroco J., Rodrigues M.L., Ricardo C.P.P., Osorio M.L., Carvalho, Faria T., et Pinheiro C., 2002.** How plants cope with water stress in the field. Photosynthesis and growth, *Annals of Botany*, pp 907-916.

**Chaves, M. M., Maroco, J. P. and Pereira, J. S., 2003.** Understanding plant responses to drought from genes to the whole plant. *Functional Plant Biology*. 30: 239-264.

**Chebouti Y., 2002 –** Note technique sur la culture du pistachier fruitier. Rev. La forêt Algérienne. N° 4, Pp : 32 – 36

**Chebouti –MEZIOU N., BOUKEROUI N. et DOUMANDJI S. E. 2001 :** ENTOMOFAUNE DU PISTACHIER (*Pistacia*) DANS LA MITIDJA.

- Chikh M., 1987** : Contribution à l'étude des dates de récoltes et de la durée de conservation sur la germination des pépins d'Agrumes. Thèse, ing. 1987 .INA. 52p.
- Clarck & Mac-Caig, 1982.** Excised leaf water relation capability as an indicator of drought resistance of Triticum genotypes. Can.J . Plant Sci. 62: 571-576 p.
- Clarke,J.M., Depauw, R.M.,Townley, T.E., Smith, J., 1992.** Crop Science . 32. 723-728.
- Claussen W., 2005.** Proline as a measure of stress in tomato plants.Plant Science pp 241 – 248.
- CORNIC G. BUKHOV N. G. WIESE C. BLIBNY R et HEBER U. (2000)**Flexible coupling between light dependent electron and vectorial proton transport in illuminated leaves of C3 plants. Role of photosystem I-dependent proton pumping. Planta. 210: 468-477.
- Countries". In(1998).** : L. Ferguson and D. Kester. Proceeding of The Second International Symposium on Pistachios And Almonds. Acta Horticulturae Number 470.
- Courtois B., 2009.** Rice root genetic architecture : Meta-analysis from a drought QTL database. Rice, 2, 15-34.
- Cornic G. & Fresneau C. 2002.** Photosynthetic carbon reduction and carbon oxidation cycles are the main electron sinks for photosystem II activity during a mild drought. Ann. Bot. 89: 887- 894 p.
- Creelman R.A & Mullet J.E. 1991** .Water deficit modulates gene expression in growing zonesof soybean seedlings. Analysis of differentially expressed cDNAs, a new  $\beta$ -tubulin gene, and expression of genes encoding cellwall proteins. Plant Mol Biol.17: 591- 608 p.
- Crane J C.; Forde H I., 1974:** Scarification with sulphuric acid speeded and increased the percentage of Pistacia seeds germination: Improved Pistacia seed germination. California agriculture; vol n°9.pp 14-20.
- Crowe J.H., Hoekstra F.A. & Crowe L.M. 1992.** Anhydrobiosis. . *physiol.* 54.579-599 p.

## D

- Darbyshire, B., 1974.** The fonction of carbohydrate units of tree fungal enzymes in their resistance to deshydratation. Plant Physiol. 54. 717-721.
- Debergh, P.C. et Zimmerman, R.H. (1991).** Micropropagation. Technology and Application. Kluwer Academic Publishers, p. 483.
- Déjardin A., Sokolov L.N. & Kleczkowski L.A. 1999** .Sugar/osmoticum levels modulate differential abscisic acid-independent expression of two stress-responsive sucrose synthesis genes in Arabidopsis. Biochem J. 344: 503 -509 p.
- Djekoun A. & Planchon C. 1991.** Tolerance to leaf water potential in soybean genotypes. Euphytica. 55: 247 - 253 p
- Djekoun A. & planchon C. 1992.** Stomatal conductance photosynthesis and acetylene reduction rate in Soybean genotypes.Can. J.Plant sci.72:383 - 390 p.
- Djekoun A. & Ykhlef N. 1996.**Déficit hydrique, effets stomatiques et non-stomatiques et activité photosynthétique chez quelques génotypes de blé

Tétraploïdes. 3<sup>ème</sup> Réunion du réseau SEWANA, de blé dur IAV HASSAN II (Maroc).

**Dixon R. & Paiva N. L. 1995.** Stress - induced phenylpropanoid metabolism. The plant cell  
.7: 1085 - 1097 p.

**El Jaafari S., 2000.** Durum wheat breeding for abiotic stresses resistance: Defining physiological traits and criteria. Option méditerranéenne, N°40. pp 251- 256.

**Dubois M., Gilles K.A., Hamilton P.A., Ruberg A. & Smith F. 1956.** Colorimetric method for determination of sugars and related substances. Analytical Chemistry.28.3:350-356p

**Dugo M.V.G., 2002.** Effet du déficit hydrique sur l'état de nutrition azotée chez les graminées fourragères. Thèse Université de Poitiers (France), 189 p.

**E**

**El Fakhri, M., Mahboub, S. et Benchekroun, M., 2010.** Effet du stress hydrique sur les caractéristiques d'enracinement du blé dur (*Triticum Durum*. Desf). 6-12.

**El Mourid, M., 1988.** Performance of wheat and barley cultivars under different soil moisture regimes in semi arid region. Ph.D. dissertation, Iowa State University Ames USA, 229 pages.

**Esmail, A., and Khezri, M., (2006)** "Abscission of Inflorescence Buds as Affected by Genetic Characteristics in Some Iranian Commercial Pistachio Cultivars". International Journal of agriculture & biology., 360-362.

**Erchidi A.E., Benbella M. & Talouizte A. 2000.** Relation entre certains paramètres contrôlant les pertes en eau et le rendement en grain chez neuf variétés de blé dur soumises au stress hydrique. Options méditerranéennes. Série A (Séminaires méditerranéens). 40 : 279 - 82 p.

**Evreinoff. A (1955)** "Le Pistachier etude pomologique" In : Journal d'agriculture tropicale et de botanique appliquée. Vol 2, N°7-9 , juillet-aout-septembre 1955. Pp 387-415. Evreinoff. v A Le Pistachier fruits, N°8 : 1947

**F**

**Fardeau J.C. et Frossard E., 1991.** Processus de transformation du phosphore dans les sols de l'Afrique de l'Ouest semi-arides: Application au phosphore assimilable. In Tiessen H and Frossard E (eds) Phosphorus cycles in terrestriai and aquatic ecosystems: regional workshop 4: *Africa S. C. O.P.E.IUNEP Nairobi Kenya*, pp 18-22.

**Fasihihi, O., et GHAFFARI M., 2001** – Chromosome studies on pistachios (*Pistacia vera* L.) from Iran, Pp : 35- 39 cité dans Cahiers options méditerranéennes. XI em colloque du Grempa sur le pistachier et l'amandier, 1- 4 septembre 1999, Zaragoza, Vol . 56, 415 p

**Ferryra R., Sellés G., Ruiz R.S. & Sellés I.M. 2004.** Effect of water stress induced at different growth stages on grapevine cv. Chardonnayon production and wine quality. Acta Hort.664: 233- 236p.

**Francis et al., (1970):** “Cooper enzymes in isolated chloroplastes”. *Plant Physiol.*, 24 (1949), pp. 1-15.

## G

**Gaufichon L, Prioul J-L et Bachelier B 2010.** Quelles sont les perspectives d'amélioration génétique de plantes cultivées tolérantes à la sécheresse ? 18-19p

**Geigenberger P., Reimholz R., Geiger M., Merlo L., Canale V. & Stitt M . 1997.** Resolution of sucrose and starch metabolism in potato tubers in response to short-term water deficit. *Planta*. 201: 502 -518 p.

Guignard, (2000), J.L., “Biochimie végétale”, Ed. Dunod, Paris, 274 p.

**Giardi M.T., Cona A.B., Geiken T., Kucera J., Masojídek A.K. & Mattoo. 1996.** Longterm drought stress induces structural and functional reorganization of Photosystem II.

*Planta*. 199: 118-125 p.

**Gorham, J.,1993.** Stress tolerance and mechanisms behind tolerance in barley. Agronomical and physiological characterization of different barley genotypes to salt stress. 4-21.

**Granier Ch., Inzé D., Tardieu F., 2000.** Spatial distribution cell division rate can be deduced from that of P34cdc2 kinase activity in maize leaves grown in contrasting conditions of temperature and water status. *Plant Physiology*, 124, 1393-1402p.

**Guettouche R. 1990.** Contribution à l'identification des caractères morpho physiologiques d'adaptation à la sécheresse chez le blé dur (*Triticum durum* Desf). Thèse diplôme d'agronomie approfondie

## H

**Hadj Hassan, A., (2003)** “Establishment of a fruit-tree field genebank”. In CGIAR Programme facilitation Unit for Central Asia and the Caucasus Conservation through sustainable use of fruit genetic resources in Central Asia”. Training course 21-25 August 2000, Tashkent, Uzbekistan. IPGRI , Rome, Italy.

**Hallage R.,1927-** Le pistachier et sa culture en Syrie. *Rev. Int. Bot. Appl.*, T.VII.

**Hamdan, I.I., Afifi, F.U., 2004:** Studies on the in vitro and in vivo hypoglycemic activities of some medicinal plants used in treatment of diabetes in Jordanian traditional medicine. *Journal of Ethnopharmacology* 93, 117-121

**Hanks R.J and Rasmussen V.P., 1982.** Predicting crop production as related to plant water stress, *Adv. Agron*, 35, pp 193-205

**Hanson, A.D. Nelson, C.E. et Everson, E.H., 1977.** Evaluation of free proline accumulation as an index of drought resistance using two contrasting barley cultivars, *Crop. Sci.* 17. 720 -726.

**Hare P.D. & Cress W.A. 1997.** Dissecting the roles of osmolyte accumulation during stress.

*Plant cell and environment*. 21: 535 - 553 p.

**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.

**Heitholt J.J., Johnson D.M. & Ferris. 1991.** Stomatal limitation to carbon dioxide assimilation in nitrogen-and drought-stressed wheat. *Crop Sci.* 31: 135 -139 p  
**Heller R., (1989)** Physiologie végétale. Ed Masson, coll. Algérie. Paris, PP. 8-19.

**Heuer, B., and Nadler, A.,1998.** Physiological response of potato plants to soil salinity and water deficit. *Plant Science*, Vol. 137, No. 1. 43-51.

**Hikosaka K., Ishikawa K., Borjigidai A., Muller O. and Onoda Y. 2006.** Temperature acclimation of photosynthesis: mechanisms involved in the changes in temperature dependence of photosynthetic rate. *J. Exp. Bot.* 57 : Pp 291-302.

**Hireche Y.A., 2006.** Réponse de la luzerne (*Medicago sativa* L) au stress hydrique et à la profondeur de semis. Mémoire de Magister, *Université Al Hady Lakhdar-Batna (Algérie)*, 83p.

**Hsissou D. 1994.** Sélection In vitro et caractérisation de mutants de blé dur tolérants à la sécheresse. Thèse de doctorat. Univ. Catholique de Louvain.

**Holtz, B., Ferguson, L. et Allen, G.E. (1995).** Rootstock Production and Budding. Dans Pistachio Production. Ferguson, L. (éd.). University of California, pp. 54-56

## I

**INRA., 2006.** Sécheresse et agriculture: réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque

## J

**Jacquy, P. (1972).** Multiplication du pistachier en pépinière. FAO-INRAT, Tunisie.

**Joley, L.E., (1960)** "Experiences with propagation of the genus Pistacia". Proceedings of the Plant Propagators' Society, 10, 287-292.

## K

**Kafkas, S., Perl-Treves, R., (2001)** "Morphological and molecular phylogeny of Pistacia species in Turkey". *Theor Appl Genet* 102, 908–915

**Kameli A. et Losel D.M., 1995.** Contribution of carbohydrates and other solutes to osmotic adjustment in wheat leaves under water stress. *Plant Physiol*, pp 363-366.

**Kellal, A., 1979.** Essai de détermination de zones à vocation pistachier en Algérie. Thèse Ing. *Inst. Nati. Agro.*, El Harrach, 55 pp.

**Keller F, M.M. Ludlow, (1993)** Carbohydrate metabolism in drought-stressed leaves of Pigeonpea (*Cajanus cajan*). *Journal of Experimental Botany*. Vol.44, No. 265, 1351-1359

**Kiès N., 1977.** La plante et l'eau, cours polycopié, INA El Harrach, 40 p.

**Koriga J, 2000** Contribution à l'étude de la diversité génétique chez deux provenances de *pistacia atlantica* defs : utilisation des marqueurs morphologique au niveaux des feuille. Thèse d'ing.IAP .P87

**Kramer J.P. et Boyer J.S., 1995.** Water Relations of Plants and Soils *Academie Press, Inc. A Division of Harcourt Brace &Company 525 B Street, Suite 1900, San Diego, California 92101-4495, 482p.*

**Krause G.H & Weis E. 1991.** Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. *Ann. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 42:313 -349 p.*

**Kumar R.G. & Dubey R.S. 1999.**Glutamine synthetase isoforms from rice seedlings:effects of stress on enzyme activity and the protective roles of osmolytes. *J Plant Physiol. 155:*

118 - 121 p

**L**

**Laberche J-C. 2004.** La nutrition de la plante In *Biologie Végétale. Dunod. 2<sup>e</sup> (éd).* Paris: 154 -163 p.

**Laghzalim M. et OUKABLI A., 1992** – Etude des exigences thermiques d'une série de variétés de pistachier cultivées au Maroc (*Pistacia vera* L.). Pp : 295 – 298 cité dans *Amélioration génétique de deux espèces de fruits secs méditerranéens L'amandier et le pistachier. 8<sup>eme</sup> colloque, 26 - 27 juin 1990, France, 372 p.*

**Larue M.1960** : Le pistachier en Iran. *Fruits* vol . 15 n° 3,139 p.

**Lawlor, D.W., 2002.**Limitation to photosynthesis in Water-stressed Leaves: Stomata vs.Metabolism and the role of the ATP. *Annals of Botany. 89: 871-885.*

**Lebon E., Pellegrino A., Tardieu F. & 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. 93 :263 -274 p.*

**Lebon E., 2006.** Effet du déficit hydrique de la vigne sur le fonctionnement du couvert, l'élaboration du rendement et la qualité. *INERA Sup Agro, UMR, Laboratoire d'Ecophysiologie des Plantes sous Stress Environnementaux, 4p.*

**Levitt J. 1980.**Responses of plants to environmental stresses. Academic Presse, New York.

**Lieutier , F., FAURE, T., GARSIA, J., 1988.** Les attaques de scolytes et le dépérissement du pin sylvestre dans la région Provence Côte d'Azur. 1988; *Revue forestière française* **40**: 224-232.

**Lyunch,J., Van Beem, J. , 1993.** *Agronomy Journal* 33. 1253-1257

**M**



**Mafakheri M, A. Siosemardeh, B. Bahramnejad, PC. Struik, Y. Sohrabi, (2010)** Effect of drought stress on yield, praline and chlorophyll contents in three chickpea cultivars. Australian Journal of Crop Science. 4 580-585.

**Maggs, D.H., (1973)** « Genetic Resources of Pistachio FAO Genetic Resources» Newsletter, N°. 29, : 7-15.

**Madhava Rao K.V., Raghavendra A.S. & Janardhan Reddy K. 2006** . Printed in the Netherlands. Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants. Springer

**Maggio A., Bressan R.A., Hasegawa P.M. & Locy R.D. 1997.** Moderately increased

constitutive proline does not alter osmotic stress tolerance. Physiologia Plantarum. 101:

240 - 246 p.

**Matin M., H. Jarvis , F. Hayden(1989),** Leaf water potential, relative water content, and diffusive resistance in Barley. Agronomy Journal 81 100-105.

**MAZLIAK P., (1981)** Physiologie végétale. Nutrition et métabolisme. Collection des Méthodes, Herman, Paris. 530P.

**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. P 98.

**McCubbin W.D. & Kay C.M .1985.**Hydrodynamic and optical properties of the wheat Em

protein. Can J Biochem. 63:803 - 810 p.

**MC Michel, B.H., and Elmore (1977), C.D.,** “Proline accumulation in water stress cotton leaves”. Crops Science, 17. 905-908.

**Mefti M., Abdelguerfi A., Chebouti A., 2000.** Etude de la tolérance à la sécheresse chez quelques populations de *Medicago truncatula* L, Gaerth INA, ElHarrach, Alger.

**Meksem, L., 2007 ;** Etude des effets de deux fongicides: Le Flammenco SC et le Tilt 250 EC sur la physiologie, la croissance et le métabolisme énergétique des racines isolées de *Triticum durum* DESF. 162 pages

**MengelK. and Kirkby, E. A., 1979.** Principals of plant nutrition 2ème Ed. Inst.Potash. InstSwitzerland, p 593.

**MESSAOUDI S. (2008).** Les plantes médicinales. Troisième édition, Dar Elfikr, Tunis. pp. 23-181.

**MOGHTADER M. (2010)** Comparative survey on the essential oil composition from the leaves and fruits of *Pistacia mutica* Fischer Kerman Province. Meadle east journal of scientific research, Vol.5, N°4, 291-297.

**Monneveux, P ; Chabbalier, C ; Lewiki, S ; Lafarga, A ; Sambrero, A ; Ontanon, R ; Romagosa, I ; 1992** « Etude du comportement de lignée d'orge dans différentes conditions de sécheresse en Espagne. Estimation du rôle de la capacité d'ajustement osmotique dans l'adaptation à la variabilité environnementale » in « tolérance à la sécheresse des céréales en zone méditerranéenne. Diversité génétique et amélioration variétale »,Colloque INRA,

1964, pp.217-237

**Monneveux, P ; Thise, D ; 1997** « La génétique face aux problèmes de la tolérance des plantes cultivées à la sécheresse : espoirs et difficultés ». Sécheresse, vol 8, 1, pp.29-37

**Morgan J.M., 1984.**Osmoregulation and water stress in higher plants. *Ann. Rev. Plant Physiol*, pp 299-319.

**Mouhajib, F., Hudson, J. B., Rejdali, M., Towers, G.H.N., 2001.** Multiple antiviral activities of endemic medicinal plants used by Berber peoples of Morocco. *Pharm. Biol.* 39, 364-374.

**Mouhouche B. & Boulassel A. 1997.** Gestion rationnelle des irrigations des compléments des cultures de légumineuses alimentaires et céréales. *Recherche agronomique. INRA.1:21-31p*

**Mougou A., (1984)** Évaluation de la résistance à la sécheresse par des paramètres morphologiques, écophysologiques et biochimiques chez plusieurs espèces de tomate. Thèse doc Ès-sciences, université de l'État à Gand, 208 P.

**Moise L., 1976.** Luzerne et facteur climatique mémoire stagiaire au CIGREF, groupement de Bordeaux, p 342.

**Morard P., 1995.** Les cultures hors sol publications agricoles, Agen. pp123-153

**N**

**Needs, R.A. et Alexander, D.M. (1982).** Pistachio, a technique for chip budding. *Australian Horticulture*, 80(10) : 87-89.

**Nemmar M., 1983.** Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez les variétés de blé dur (*Triticum durum*, Desf) et de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) Evolution des teneurs en proline au cours du cycle de développement. Thèse Doctorat Montpellier, p 108.

**Nouri L., 2002.** Ajustement osmotique et maintien de l'activité photosynthétique chez le blé dur (*Triticum durum*, Desf), en condition de déficit hydrique. Thèse de Magistère en Biologie végétale Univ *Mentouri*. Constantine. 77p.

**Nouri L., Ykhlef N. & Djekoun A. 2002.** Ajustement osmotique et comportement hydrique chez certaines variétés de blé dur : relation avec la tolérance à la sécheresse. Actes de séminaire' III<sup>ème</sup> journées Scientifiques sur le blé'. (éd). Univ. Mentouri. Constantine.

**O**

**Ober, E.S., Sharp, R.E., 1994.** Proline accumulation in maize (*Zea mays* L.) primary roots at low water potentials. I. Requirement for increased levels of abscisic acid. *Plant Physiol* 105: 981-987.

**Oukabli A., 2005** – Le pistachier – Un arbre fruitier et forestier. Transfert de technologie en agriculture N° 125, Pp : 1- 4.

**Olsen M., 1999-** National Food Administration, Division of biology, P.O. box 622, SE-75126 UPPSALA (Suède). Pp (1-9)

**Osmond C.B. 1994.**What is photoinhibition? Some insights from comparisons of shade and sun plants. In: Baker N.R. & Bowyer J.R. (éd) *Photoinhibition of Photosynthesis: From Molecular Mechanisms to the Field*. BIOS. Scientific Publishers. Oxford : 1-24 p

**Oppenheimer F, 1960** The prospective effect of sugars on chloroplast membranes during temperature and water stress and its relationship to frost, desiccation and heat resistance. *Planta*. Vol. 113, PP. 23-46

**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.

## **P**

**Padulosi, S., Caruso, T., Barone, E., (1995)** “Taxonomy, Distribution, Conservation and Uses of Pistacia Genetic Resources”. Project on Underutilized Mediterranean Species, report of a workshop 29–30 June, 12–19, Palermo, Italy, IPGRI.

**Passioura J.B., (1977)** Grain yield, harvest index and water use of wheat. *J Aust. Agric Sci.* Vol. 43, Pp 20-117.

**Penuelas, J., Save, R., Marfa, O., and Serrano, L., 1992.** Remotely measured canopy

temperature of greenhouse strawberries as indicator of water status and yield under mild and

very mild water stress conditions. *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 58, No. 1-2. 63-77.

**Popp, M., and Smirnoff N., (1995)**, “Polyol accumulation and metabolism during water deficit” in Davies W.I. Ed Smirnoff N, “environment and plant metabolism flexibility and acclimatation”. Bios. Scientific publishers, Oxford- 129- 169p.

## **R**

**Rahemi M., pakkashi Z., ( 2009)** “determination of chilling and heat requirements of pistachio cultivars”.*Agri.Sci.en china*.Vol.8 n° 7, 803-807.

**Rasio Z ., Bresson R.A., Csonka L.N., Garcia-Rios M.G., Paino D’Urzo M. et Rhodes D. 1987.** Proline accumulation during drought and salinity.In :Sminoff N.*Environmentand plant metabolism, flexibility and acclimation. Oxford BIOS*.161: pp 79- 88.

**Robelin M. 1984.** Fonctionnement hydrique et adaptation a la sécheresse. *Physiologie du maïs* : 445 – 476 p.

**Romero, M.A., Vargas, F.J., Aletà, N. et Batlle, I. (1988).** Multiplicación y manejo de plantas en pistachero, Rapport EUR 11557 FR-EN-IT-ES, pp. 327-336.

## **S**

**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.

**Samaras Y., Bresson R.A., Csonka L.N., Garcia-Rios M.G., Paino D’Urzo M. et Rhodes D. 1995.** Proline accumulation during drought and salinity.In :Sminoff N.*Environmentand*

**Schulze E-D. Beck E. & Müller-Hohenstein K. 2005.** *Plant ecology*. Springer. Berlin:117-143p.

**Scofield T., Evans J., Coook M.G. & Wardlow I.F. 1988.** Factors influencing the rate and

duration of grain filling in wheat. *Aust.J. Plant physiol.* 4:785 - 797 p.

**Serrar Mohamed, 2011 :** Le pistachier pour valoriser les zones arides. pp :1-2  
[ag.info.omafra@ontario.ca](mailto:ag.info.omafra@ontario.ca)

**Sheibani, A., (1996)** "Distribution, Use and Conservation of Pistachio in Iran. Report of a workshop: taxonomy, Distribution, conservation and uses of Pistacia genetic resources". 29-30 June Palermo, Italy. International Plant Genetic Resources Institute, Rome Italy , 51-56.

**Siakhène, N; 1984** "effet du stress hydrique sur quelques espèces de luzerne annuelle" thèse Ing Agr, INA, El Harrach, 90 p.

**Simane, B., Struik, P.C., Nachit, M.M. et Peacock, J.M.,1993.** Ontogenic analysis of yield stability of durum wheat in water-limited environments. *Euphytica*, 71 : 211-219.

**Slama A. 2002.** Étude comparative de la contribution des différentes parties du plant du blé dur dans la contribution du rendement en grains en irrigué et en conditions de déficit hydrique. Thèse de doctorat en biologie. Tunis.

**Slama A., Ben Salem M. & Zid D. 2004.** La proline est-elle un osmorégulateur chez le blé dur ? Communication aux 15es Journées biologiques. Forum des sciences biologiques. Association tunisienne des sciences biologiques.

**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.

**Spichiger, R.F., Savolainen, V. V., Figeat, M., (2000)** «Botanique systématique des plantes à fleurs une approche phylogénétique nouvelle des angiospermes des régions tempérées et tropicales». Press. Polytechn. Univ. Romandes, Lausanne, «Collection biologie», 372.

**Subbarao G.V., (1995)** Strategies for improving drought resistance in grain legume. *Crit Rev Plant. Sci.* Vol. 14, Pp 469- 523.

**Suszka B.; Muller C. et Bonnet-Masimbert M., 1994 :** Graines des feuillus forestiers. De la récolte au semis. Ed: INRA. 292p.

**Stewart, C.R. et Lee, J.A.,1974.** The role of proline accumulation in halophytes. *Planta*, 120: 279-289

## T

**Tahri E., Belabed A. & Sadki K. 1997.** Effet d'un stress osmotique sur l'accumulation de proline, de chlorophylle et des ARNm codant pour laglutamine synthétase chez trois variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.). *Bulletin de l'Institut Scientifique.* Rebat.21: 81 - 89 p.

**Tazim. 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.

**Teare I.D. & Kanemasu E.T. 1972.** Stomatal diffusion resistance and potentialy as affected by preconditioning water stress in the field. *Agronomie Journal.* 68: 707-708 p.

**Teulat B.B., Monneveux P., Wery J., Borries c., Souyriss l., Charrieri A. et This D., 1997.** Relationships between relative water content and growth parameters under water stress in barley: a QTL study. *New Phytol* 137: pp 99-107.

**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.

**Turner N.C., 1986.** Adaptation to water deficits: a changing perspective. *Aust J. Plant Physiol* (13), pp 175-190.

**Trolls S et Lindsley V, (1955)** Water stress induced changes in concentrations of proline and other solutes in growing regions of young Barley leaves. *Jour. Exp. Bot.* 36, n° 172, pp 1716-1725.

**Tsimilli-Michael M. M., Pêcheux R.J. & 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.* 51: 205 - 240 p.

## V

**Vargas, F.J. (1985).** El pistachero: algunos aspectos importantes del cultivo. Dans ; *Jornades Agriries de Les Garrigues, Maials (Lleida), Espagne.* Publicaciones del CAMB, Ne 33, Tarragona, pp. 71-1 01

**Vargas, F.J., Romero, M.A. et Aletà, N. (1989).** Injertado del pistachero. *Fruticultura Profesional*, 23 19-23.

**Voetberg G.S. et Sharp R.E., 1991.** Growth of the maize primary root at low water potential. III. Role of increased proline deposition in osmotic adjustment. *Plant physiology* 96: pp 1125-1130.

## W

**WOLFE D. W. SARDAS V. O. VILLALOBOS J et FERRERES E. (1992)** Photosynthesis recovery from drought in relation to stress effect on leaf osmotic potential and nitrogen content. In: *Proceeding of the 13<sup>th</sup> international sunflowers.* Pisa, Italy, 1: 658-663.

**Wu Y., Cosgrove D.J., 2000.** Adaptation of roots to low water potentials by changes in cell wall extensibility and cell wall proteins. *Journal of Experimental Botany*, 51, 1543-1553.

## X

**Xu W., Campbell P., Vargeese A.K. & Braam J. 1996.** The Arabidopsis XET-related gene family : environmental and hormonal regulation of expression. *Plant J.* 9: 879 - 889 p.

## Y

**YAAQOBI A., EL HAFID L. et HALOUI B. (2009)** Etude biologique de *Pistacia atlantica* Desf. de la région orientale du Maroc. *Biomatec ECHO*, Vol. 3, N° 6, 39-49.

**Yancey PH., 2005.** Organic osmolytes as compatible, metabolic and counteracting cryoprotectants in high osmolarity and other stresses. *J. Exp. Biol.* 208, pp 2819-2830.

**Ykhlef N. & Djekoun A. 2000.** Adaptation photosynthétique et résistance à la sécheresse chez le blé dur (*Triticum turgidum* L. var. durum) : Analyse de la variabilité génotypique. Option Méditerranéennes. Série A. 40: 327 -330 p.

**Ykhlef N. 2001.** Photosynthèse, Activité photochimique et tolérance au déficit hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* ; Desf). Thèse de doctorat. Univ. Mentouri .Constantine.

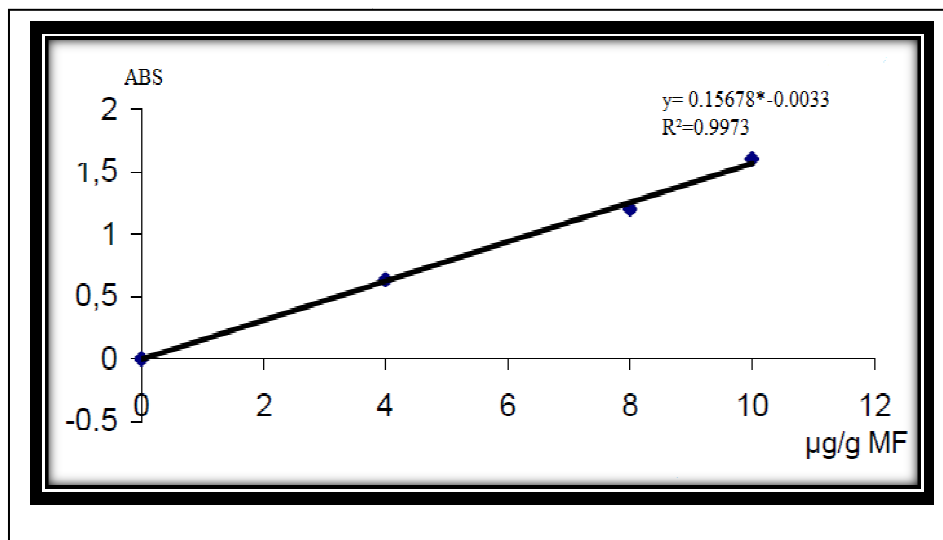
## **Z**

**Zeghida A., Amrani R., Djennadi F., Ameroun R., Khldoun A.A. & Belloucif M. 2004.** Etude de la variabilité de réponse des plantules de blé dur (*Triticum durum* Desf) à la salinité. Céréaliculture. ITGC. 42. Constantine : 5p.

**Zohary, M., (1952)** "A Monographic Study of Genus Pistacia". Palestine P J. Bot., Series 5 (4), 187-228.

## ANNEXES

### Annexe 1 : Courbe d'étalonnage de la proline



### Annexe 2 : Analyse de la variance : Taux de germination

	T0	T1	T2	T3
Moyenne	45.7	68.6	57	30.8
écart type	10	8.3	13.4	9

### Annexe 3 : Analyse de la variance : La vitesse de germination des graines

	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>
Semaine1	4	22	15	11
Semaine2	8	4	4	1
Semaine3	6	3	3	2

### Annexe 4 : Analyse de la variance: Hauteur des tiges après un mois du semis

	T0	T1	T2	T3
Moyenne	6.06	9.28	9.82	8.34
écart type	0.1	0.3	0.28	0.41

### Annexe 5 : Analyse de la variance: Longueur de la tige

	T 0 Témoin	T 1 (5j AA)	T2 (15j AA)	T3 (21j AA)
Moyenne	22,5	28,2333333	20	15,6666667
écart type	0,5	4,35052147	2,70246801	1,78211277

**Annexe 6 : Analyse de la variance: Longueur de racine**

	T 0 Témoin	T 1 (5j AA)	T2 (15j AA)	T3 (21j AA)
Moyenne	35,3333333	26,4	27,1333333	16,5
écart type	2,21944271	3,7554405	1,19505153	0,28867513

**Annexe 7 : Analyse de la variance: Rapport en longueur de racine/tige**

	T0	T1	T2	T3
Moyenne	1.57	0.94	1.38	1.06
écart type	0.002	0.004	0.003	0.003

**Annexe 8 : Analyse de la variance: Nombre de feuilles**

	T 0 Témoin	T 1 (5j AA)	T2 (15j AA)	T3 (21j AA)
Moyenne	13,6666667	11	7	4
écart type	1,50308325	0,57735027	0,57735027	0,69388867

**Annexe 9 : Analyse de la variance: La surface foliaire**

	T0	T1	T2	T3
Moyenne	18,14	10,6566667	7,87666667	2,09333333
écart type	1,09860518	0,84106634	0,17821128	0,55343707

**Annexe 10 : Analyse de la variance: Teneur Relative en Eau (TRE)**

	T0	T1	T2	T3
Moyenne	81.85	69.28	63.37	46.91
écart type	5.9	7.8	5.5	4.7

**Annexe 11 : Analyse de la variance: La teneur en chlorophylle (a)**

	T0	T1	T2	T3
Moyenne	0.15	1.33	1.58	1.91
écart type	0.000592	0.001142	0.003452	0.005125

**Annexe 12 : Analyse de la variance: La teneur en chlorophylle (b)**

	T0	T1	T2	T3
Moyenne	0.31	1	1.09	0.75
écart type	0.00212	0.001145	0.002362	0.001425



**Annexe 13 :** Analyse de la variance: Teneur en chlorophylle (c)

	T 0 Témoin	T 1 (5j AA)	T2 (15j AA)	T3 (21j AA)
Moyenne	121,227083	127,4	141,341916	200,05
écart type	21,6990179	55,6525182	80,0926841	103,107246

**Annexe 14 :** Analyse de la variance: La teneur en proline des feuilles

	T 0 Témoin	T 1 (5j AA)	T2 (15j AA)	T3 (21j AA)
Moyenne	0,33139	0,55924	0,5921	0,899
écart type	0,01485522	0,01932969	0,00465344	0,03078432

**Annexe 15 :** Analyse de la variance: La teneur en proline des tiges

	T0	T1	T2	T3
Moyenne	0.38	1.18	1.64	1.47
écart type	0.002586	0.0014525	0.0054125	0.002514

**Annexe 16 :** Analyse de la variance: La teneur en proline des racines

	T0	T1	T2	T3
Moyenne	0.033	0.061	0.14	0.27
écart type	0.001455	0.0015248	0.0041253	0.0032514

**Annexe 17 :** Analyse de la variance: La teneur en sucres solubles

	T 0	T 1	T2	T3
Moyenne	1,07469333	2,22479867	2,15630933	2,23418833
écart type	0,04688016	0,12464186	0,071702	0,56565145