

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DE L'EFFET DU STRESS HYDRIQUE SUR LE COMPORTEMENT MORPHOLOGIQUE ET PHYSIOLOGIQUE DES PLANTULES DU PISTACHIER DE L'ATLAS *PISTACIA ATLANTICA* DESF.

OUKARA Fatma Zohra^{1,2*}, CHAOUIA Cherifa¹ et BENREBIHA Fatma Zohra¹

1. Université de Blida1. Faculté des Sciences de la Nature et de la vie. Département de Biotechnologies. Laboratoire en Biotechnologie des Productions Végétales, B.P. 270, route de Soumaa, Blida 09000, Algérie..

2. Institut National de la Recherche Forestière. Station de recherche sur la conservation des sols et lutte contre l'érosion. Ain D'heb 26001 Médéa. Algérie.

Reçu le 21/05/2017, Révisé le 14/06/2017, Accepté et mis en ligne le 30/06/2017

Résumé

Description du sujet: Cet article s'intéresse à la connaissance des potentialités d'adaptation de *Pistacia atlantica* Desf. au stress hydrique.

Objectifs: Cette étude a pour but l'évaluation de l'effet de stress hydrique sur le comportement des plantules du pistachier de l'Atlas *P. atlantica* en pépinière.

Méthodes: Un arrêt d'arrosage a été appliqué aux plantules de *P. atlantica* âgées de trois mois pendant 5, 15 et 21 jours afin de suivre le comportement morphologique et physiologique de cette espèce vis-à-vis de déficit hydrique.

Résultats: Le stress hydrique a entraîné la diminution de croissance de la tige. La longueur passe de 31,16 cm chez les plantules témoins pour arriver à 14,83 cm chez les plantules stressées pendant 21 jours. La longueur de la racine principale n'a pas été affectée par le stress hydrique. La teneur relative en eau la plus élevée est observée chez les plantules stressées pendant 5 jours avec 66,92 %. La teneur en proline des feuilles augmente significativement en fonction de niveau du stress et arrive à 1,99 µg/g MF pendant une période de 21 jours. L'accumulation des sucres solubles au niveau des feuilles varie avec les niveaux du stress. Les traitements de 15 et 21 jours induisent une forte accumulation des sucres solubles avec respectivement 4,95 et 5,44 µg/g MF.

Conclusion: Les réponses morphologiques et physiologiques des plantules en pépinière contribuent efficacement aux mécanismes de tolérance de l'espèce au stress hydrique.

Mots clés: *Pistacia atlantica*, stress hydrique, croissance, teneur en eau, proline, sucre soluble.

CONTRIBUTION TO THE STUDY OF THE EFFECT OF THE WATER STRESS ON MORPHOLOGICAL AND PHYSIOLOGICAL BEHAVIOR OF *PISTACIA ATLANTICA* DESF. SEEDLINGS

Abstract

Description of the subject: This article is interested in the knowledge of the potentialities of adaptation of *Pistacia atlantica* in the water stress.

Objective: This study aims at the evaluation of the effect of water stress on the behavior of Atlas pistachio (*Pistacia atlantica* Desf.) seedlings in tree nursery.

Methods: A stop of watering was applied to seedlings of *P. atlantica* three-month-old during 5, 15, and 21 days to study the morphological and physiological behavior of this species towards water stress.

Results: The water stress has caused the decrease of growth of the stem. The length of the stem spends of 31.16 cms to seedlings witnesses to arrive at 14.83 cms to seedlings put under stress for 21 days. The length of the taproot was not affected by water stress. The highest relative water content is observed at seedlings put under stress during 5 days with 66.92 %. The proline content of leaves increases significantly according to level of the stress and arrives at 1,99 µg/g MF during a period of 21 days. The accumulation of soluble sugars varies with the level of the stress. treatments 15 et 21 days cause a strong accumulation of soluble sugars with respectively 4,95 et 5,44 µg/g MF respectively.

Conclusion: The morphological and physiological answers of seedlings in tree nursery contribute effectively to the mechanisms of tolerance of the species in the water stress.

Keywords: *Pistacia atlantica*, water stress, growth, proline, water content, soluble sugars.

* Auteur correspondant: OUKARA Fatma Zohra, Université de Blida 1. Faculté des Sciences de la Nature et de la vie. Département de Biotechnologies. Laboratoire de Biotechnologie des Productions Végétales, Algérie, Téléphone: 0551161049, E-mail: fzoukara@yahoo.fr

INTRODUCTION

La dégradation des sols et la sécheresse constituent des obstacles majeurs à la croissance des plantes qui sont souvent sujettes à des facteurs extrêmes de potentiel hydrique, température et salinité, engendrant différents types de stress [1; 2]. Les stress environnementaux, notamment le stress hydrique, limitent sérieusement la croissance des plantes ainsi que la productivité végétale [3]. Lors d'un déficit hydrique, différents mécanismes adaptatifs sont mis en jeu par la plante pour maintenir un état hydrique favorable et/ou tolérer la déshydratation [4]. Plusieurs caractères physiologiques et biochimiques se manifestent chez les plantes et sont directement corrélés à la tolérance aux stress [5].

Le développement des espèces végétales tolérantes aux stress abiotiques et de haute valeur socio-économique, constitue une des approches pour réhabiliter les zones arides et semi-arides. Le choix idéal d'une végétation appropriée à ces conditions, constitue la première étape pour résoudre le problème de sécheresse. Parmi ces espèces, le pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) de la famille des Anacardiaceae, considéré comme une espèce rustique très importante et qui mérite une attention toute particulière. Sa rusticité le rend particulièrement intéressant quant à son utilisation dans les programmes de reforestation et de sylviculture dans les zones semi-arides et arides; puisqu'il se régénère et se développe dans des sites arides où peu d'espèces d'arbres peuvent s'établir et se développer [6 ; 7]. Il est caractérisé par une importante variabilité foliaire, significativement corrélée aux conditions climatiques [8 ; 9].

Le pistachier de l'Atlas dans son aire de répartition en Algérie, est assujéti à une contrainte hydrique qui détermine sa distribution, sa croissance et son développement. Afin de pallier à cette contrainte, la connaissance des potentialités d'adaptation de cette espèce est primordiale et d'un grand intérêt pour son utilisation éventuelle dans les programmes de reboisement.

Dans le présent travail, nous avons cherché à étudier les effets du stress hydrique induit par un arrêt d'arrosage sur le comportement morphologique et physiologique de cette espèce, dans le but d'identifier les mécanismes d'adaptation de celle-ci au stade plantules face à la rareté de l'eau

MATÉRIEL ET MÉTHODES

1. Matériel végétal

Les graines de *P. atlantica* ont été récoltées à maturité le mois de septembre 2015 dans la région d'Ain Oussera, située dans l'étage semi-aride de la wilaya de Djelfa à 300 km au Sud d'Alger. Afin de lever l'inhibition tégumentaire des graines, un trempage dans l'acide sulfurique concentré (H_2SO_4) pendant 1 heure a été réalisé. Les graines ont été lavées à l'eau distillée pendant 15 minutes, puis désinfectées à l'hypochlorite de sodium ($NaClO$) à 8% pendant 5 minutes et rincées abondamment à l'eau distillée. Les graines au nombre de 25 sont mises à germer dans des boîtes de Pétri de 9 cm de diamètre contenant du coton hydrophile tapissé de papier filtre. Elles sont placées dans un incubateur réglé à $25 \pm 2^\circ C$.

2. Application du stress hydrique

Après germination, les plantules sont repiquées individuellement dans des pots en plastique capacité de 3.5 L, remplis d'un mélange du sol et de tourbe (Stender) (2 volumes de sol pour 1 volume de tourbe). Les pots ont été placés dans une serre ordinaire (non contrôlée) située au sein de laboratoire de Biotechnologies Végétales de l'université de Blida 1, dont l'orientation est nord-sud. L'aération est assurée par des fenêtres placées latéralement de part et d'autre de la serre. Le chauffage en période froide est assuré par des radiateurs à eau chaude. La température moyenne de la serre durant l'expérimentation (février-mai) étant $30^\circ C$. Un arrosage tous les deux jours est opéré jusqu'à l'application du stress. Après trois mois, les plantules ont subi un stress hydrique par arrêt d'arrosage. Les plantules du lot témoin ont été arrosées à l'eau du robinet régulièrement jusqu'à la fin de l'expérimentation (15 semaines).

3. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental adopté est un plan sans contrôle d'hétérogénéité à randomisation totale. Quatre traitements ont été testés, le témoin, le niveau 1 de stress : 5 jours d'arrêt d'arrosage, le niveau 2 de stress : 15 jours d'arrêt d'arrosage et le niveau 3 de stress : 21 jours d'arrêt d'arrosage. Chaque traitement comporte 10 observations, soit 40 unités expérimentales au total. L'analyse statistique des résultats obtenus a été réalisée par le logiciel SPSS© (version 20). Les résultats obtenus ont été soumis à l'analyse de la variance (ANOVA) à un niveau de probabilité de 5%. Les moyennes sont comparées par le test de Tukey afin de déterminer les groupes homogènes à $\alpha=0,05$.

4. Croissance en longueur

A la fin de l'expérimentation, les parties aériennes et celles souterraines ont été séparées, les racines ont été lavées soigneusement et séchées avec du papier filtre. La longueur totale de la tige et de la racine est mesurée à l'aide d'une règle millimétrique sur toutes les plantules testées.

5. Statut hydrique des plantules

Le statut hydrique des plantules est déterminé par leur teneur relative en eau (TRE) qui est mesurée selon la méthode de Barrs et al. [10]. Le limbe foliaire excisé est pesé directement pour avoir le poids frais (Pf). Il est ensuite placé dans un tube à essai contenant de l'eau distillée pendant 24 heures. La pesée de la feuille après la réhydratation donne un poids à pleine turgescence (Pr). Enfin, le poids sec (Ps) est déterminé après passage des échantillons dans l'étuve à 80°C pendant 48 heures. La TRE est calculée selon la formule suivante : $TRE (\%) = (Pf - Ps / Pr - Ps) \times 100$

6. Humidité du sol

L'humidité du sol après chaque prélèvement est mesurée. Un échantillon du sol est pesé directement pour obtenir le poids frais (PF). Il est placé dans une étuve à une température de 105°C jusqu'à l'obtention d'un poids sec constant (PS).

L'expression de l'humidité est alors calculée selon la formule suivante :

$$H(\%) = \frac{(\text{poids frais} - \text{poids sec})}{\text{poids sec}} \times 100$$

7. Dosage de la proline

La teneur en proline des feuilles a été mesurée selon la méthode de Troll et al. [11]. La technique consiste à prendre 100 mg de matière végétale sur le tiers médian de l'avant dernière feuille. Un volume de 2 ml de méthanol à 40 % est ajouté. Le mélange est chauffé au bain-Marie à 85°C pendant 60 mn. Après refroidissement, 1 ml d'extrait est prélevé auquel il faut ajouter : 1 ml d'acide acétique, 25 mg de ninhydrine et 1 ml de mélange contenant (120 ml d'eau distillée, 300 ml d'acide acétique, 80 ml d'acide ortho-phosphorique). Le mélange est porté à ébullition pendant 30 minutes où la solution vire vers le rouge. Un volume de 5 ml de toluène est ajouté à la solution subissant une agitation par vortex. Deux phases se séparent après refroidissement et après déshydratation de la phase supérieure par l'ajout de 5 mg de sulfate de sodium. La densité optique (DO) est mesurée à 528 nm en utilisant le spectrophotomètre après 48 heures. La détermination de la teneur en proline est réalisée selon la formule : **Proline ($\mu\text{g} / \text{g MF}$) = $DO528 \times 0,62$**

8. Dosage des sucres solubles

La teneur en sucres solubles dans les feuilles a été mesurée selon la méthode de Dubois et al. [12], qui consiste à mettre 100 mg de matière fraîche végétale dans des tubes à essai puis ajouter 2 ml d'éthanol à 80%. Laisser les tubes fermés au repos pendant 48h. Faire évaporer l'alcool en mettant les tubes à essai dans un bain Marie à 70° C. Après refroidissement, un volume de 20 ml d'eau distillée est ajouté dans chaque tube à essai. Prendre 1 ml de la solution et ajouter 1 ml de phénol à 5 % et bien agiter. Ajouter 5ml d'acide sulfurique concentré, dans chaque tube à essai puis les passer au vortex, les laisser au repos pendant 10mn puis les passer au bain Marie pendant 15 mn à 30°C. Procéder à la lecture au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 490 nm.

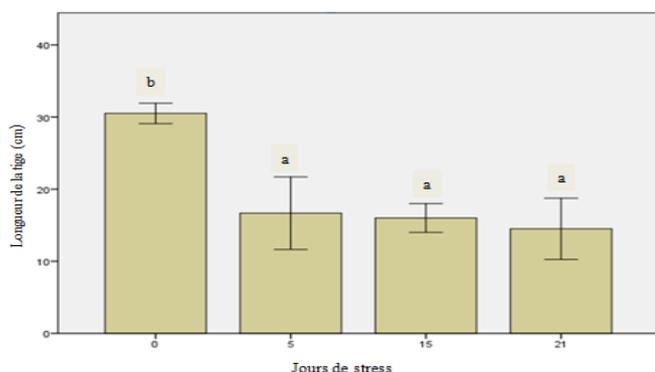
La détermination de la teneur des sucres solubles est réalisée selon la formule: **Sucres solubles ($\mu\text{g/g MF}$)= DO 490 X 1,657.**

RÉSULTATS

1. Longueur de la tige

L'application du stress hydrique aux plantules de *P. atlantica* induit un impact hautement significatif sur la longueur de la tige ($p=0,000$). Dans les conditions de bonne alimentation en eau (témoins), les plantules ont continué leur croissance. La longueur de la tige enregistrée chez ce lot est de 31,16 cm. Par contre, chez les plantules stressées pendant 21 jours, la croissance est arrêtée. La longueur de la tige chute jusqu'à atteindre 14,83 cm. L'effet du stress hydrique sur la croissance de la partie aérienne des plantules a conduit à des altérations du fonctionnement cellulaire (flétrissement des feuilles, ralentissement voire arrêt de la croissance). Le test de Tukey au seuil de 5 %, montre deux groupes homogènes distincts (Fig.1).

Figure 1: Effet du stress hydrique sur la longueur de la tige des plantules.



Groupe a : plantules non stressées (Témoins)
 Groupe b : plantules stressées (5,15 et 21).

2. Longueur de la racine

La longueur de la racine principale n'a pas été affectée par le stress hydrique ($p=0,125$). Les valeurs obtenues sont 25,33 cm chez les plantules témoins et 23,67 cm chez les plantules stressées pendant 21 jours. Le test de Tukey au seuil de 5 %, classe les plantules non stressées et les celles stressées dans le même groupe a.

Les plantules ont eu un comportement similaire et ceux quelque soit le traitement (Fig. 2).

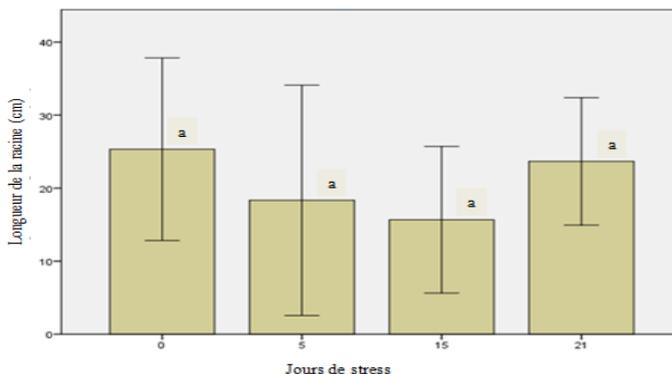


Figure 2: Effet du stress hydrique sur la longueur de la racine principale des plantules.

En condition de bonne alimentation hydrique, les plantules du pistachier de l'Atlas émettent une racine principale ramifiée. L'augmentation de la contrainte hydrique provoque la disparition successive des racines secondaires (Fig. 3).



Figure 3: Architecture du système racinaire en fonction de l'intensité du stress hydrique.

3. Teneur relative en eau

La variation de la teneur en eau des plantules de *P. atlantica*, montre que le premier niveau de stress entraîne une augmentation de la teneur en eau des feuilles de plantules par rapport au témoin. Le prolongement de la durée du stress entraîne une chute progressive de la teneur en eau des feuilles. La teneur moyenne est de l'ordre de 48,67 % chez les plantules témoins. Elle passe à 66,67 % chez les plantules stressées pendant 5 jours et chute brusquement et arrive jusqu'à 12,33 % pour les plantules stressées pendant 21 jours (Fig. 4).

L'analyse statistique montre que l'effet de stress hydrique est hautement significatif ($P=0,000$) sur la teneur relative en eau des feuilles. Trois groupes homogènes différents se distinguent selon le test de Tukey au seuil de 5% (Fig. 4).

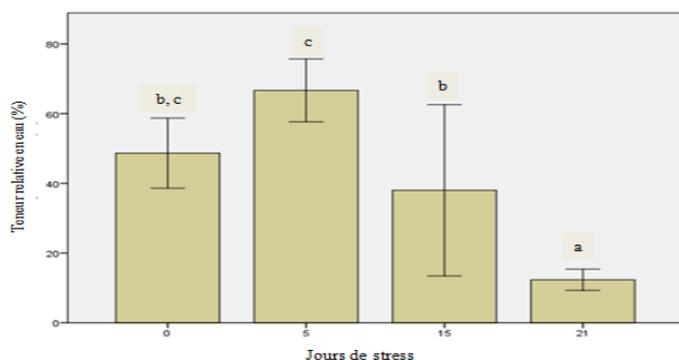


Figure 4: Effet du stress hydrique sur la teneur relative en eau des feuilles de plantules.

- Groupe a: plantules stressées pendant 21 jours.
- Groupe b: plantules témoins et plantules stressées pendant 15 jours;
- Groupe c: plantules stressées pendant 5 jours.

4. Humidité du sol

Le taux d'humidité du sol diminue progressivement de 50,29 % chez le lot des plantules témoins jusqu'à 13,55 % chez le lot des plantules stressées pendant 21 jours. Le taux d'humidité du sol après un arrêt d'arrosage de 5 jours est de 40,97 %. Il est de 20,08 % après un arrêt d'arrosage de 15 jours. L'analyse statistique montre une différence hautement significative de l'arrêt d'arrosage sur l'humidité du sol. Quatre groupes homogènes différents se distinguent selon le test de Tukey au seuil de 5% (Tableau 1).

Tableau 1: Variation de taux d'humidité du sol en fonction de la durée du stress appliqué

	Témoins	5 jours de stress	15 jours de stress	21 jours de stress
Humidité du sol %	50,29 ± 0,17	40,97 ± 0,11	20,08 ± 0,38	13,55 ± 0,56
Groupes homogènes	d	c	b	a

5. Teneur en proline

La teneur en proline au niveau des feuilles de *P. atlantica* varie en fonction de niveau de stress.

Après 5 jours de stress, on constate que la teneur en proline reste faible et proche de celle de témoin avec une valeur de 0,26 µg/g MF. Quant aux plantules stressées pendant 15 et 21 jours, une augmentation très importante de la teneur en proline a été enregistrée avec des quantités moyennes de 1,76 et 1,99 µg/g MF respectivement. L'analyse de la variance montre une différence hautement significative des différents traitements de stress sur la teneur en proline ($p=0,000$) où deux groupes se dégagent selon le test de Tukey au seuil de 5% (Fig. 5).

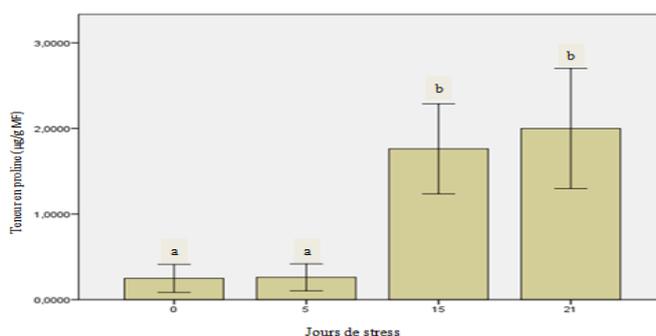


Figure 5: Effet du stress hydrique sur la teneur en proline des feuilles de plantules.

- Groupe a : teneur en proline faible, plantules témoins et celles stressées pendant 5 jours.
- Groupe b : teneur en proline moyenne à forte, plantules stressées pendant 15 et 21 jours.

6. Teneur en sucres solubles

Les fortes accumulations des sucres solubles sont observées au deuxième et troisième niveau de stress avec respectivement 4,95 et 5,44 µg/g MF. Par contre les faibles teneurs sont enregistrées au premier niveau de stress avec une valeur de 3,39 µg/g MF. Cette valeur est moins élevée par rapport à la valeur enregistrée chez les plantules témoins où nous avons enregistré 3,77 µg/g MF. Deux groupes homogènes différents se distinguent selon le test de Tukey au seuil de 5% (Fig. 6).

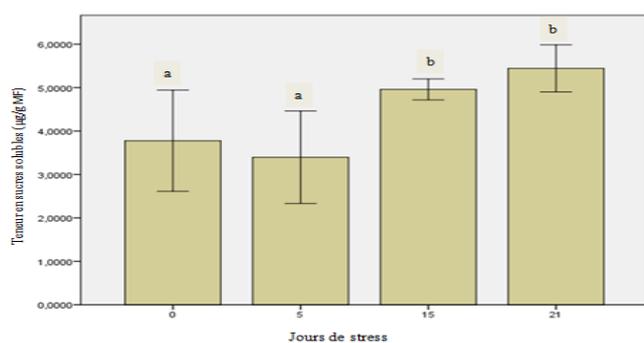


Figure 6: Effet du stress hydrique sur la teneur en sucres solubles des feuilles de plantules.

Groupe a : teneur en proline faible, plantules témoins et celles stressées pendant 5 jours.

Groupe b : teneur en proline moyenne à forte, plantules stressées pendant 15 et 21 jours.

DISCUSSION

Les résultats obtenus, à partir de l'étude de certains mécanismes de résistance au stress hydrique chez les plantules de *P. atlantica* soumises à des conditions de déficit hydrique par arrêt d'arrosage, ont montré que la réponse à cette contrainte dépend de l'intensité du stress appliqué. L'étude de la relation entre le stress hydrique et les paramètres morphologiques a montré que le stress appliqué n'affecte pas de la même manière la partie racinaire et aérienne des plantules. Le stress hydrique a engendré la réduction de la hauteur de la tige des plantules de *P. atlantica*. Il a été rapporté que la réponse générale des plantes à la sécheresse est la réduction de la croissance. Selon Hopkins [1], la réduction de la croissance est une capacité adaptative nécessaire à la survie d'une plante exposée à un stress hydrique. La diminution de la croissance en hauteur des plantes soumises à différentes contraintes hydriques a été observée chez d'autres espèces telles que l'arganier [13], le casuarina [14], le cèdre [15] et les porte-greffes des agrumes [16]. La réduction de la hauteur de la tige peut s'expliquer par un retard dans la croissance végétative suite à une baisse de divisions cellulaires induite par un déficit hydrique qui empêche l'absorption de l'eau par les racines. Cependant, le stress hydrique n'a pas affecté la longueur de la racine principale. En conditions de bonne alimentation en eau (plantules témoins) le système racinaires est plus dense avec un nombre important de ramifications.

Le pivot vigoureux porte des racines latérales développées. L'augmentation de la contrainte hydrique a provoqué un allongement de la racine principale accompagnée à une disparition successive des racines secondaires. L'effet du stress hydrique sur la longueur de la racine principale a été peu marqué. En effet, les plantules témoins et celles stressées durant 21 jours, qui ont le même âge (15 semaines), ont présentées des valeurs similaires. Cependant, les racines des plantules stressées sont frêles et filiformes. Le chevelu racinaire, sous conditions de déficit hydrique, est particulièrement intéressant, car la matière sèche racinaire est utilisée au profit de l'accroissement en longueur des racines favorisant ainsi une meilleure extension du système racinaire [17]. Cette réponse morphologique est fréquemment rencontrée chez les espèces ligneuses aptes à tolérer la contrainte hydrique. L'extension du système racinaire, en réponse à l'application d'une contrainte saline ou hydrique contribue à l'absorption de l'humidité des couches les plus profondes du sol [18]. Chez les plantules de *P. atlantica*, ce mécanisme d'adaptation morphologique a été observé par Oukara *et al.* [19] lors de l'étude de la tolérance de l'espèce au stress salin.

Le stress appliqué pendant 5 jours, a provoqué une augmentation de la teneur relative en eau des feuilles par rapport au témoin. Le maintien de la TRE plus ou moins élevé en comparaison aux témoins serait probablement dû à une osmorégulation active, suite à la mise en place d'un mécanisme de tolérance au stress hydrique à savoir l'ajustement osmotique. De plus, l'arrêt d'arrosage de 5 jours n'a pas provoqué une réduction importante concernant l'humidité du sol par rapport aux conditions de bonnes alimentations en eau. En effet, l'absorption de l'eau est maintenue à un niveau suffisant pour éviter la déshydratation. Boujnah *et al.* [20], signalent, que l'olivier garde une capacité cruelle de récupération de l'eau malgré qu'elle soit confrontée à un stress hydrique pour une longue période. En revanche, l'augmentation de l'intensité du stress par le prolongement de la durée du stress a entraîné une chute remarquable de la teneur en eau. Ainsi, pour garder le potentiel de turgescence aussi élevé que possible, après la chute très remarquable de la teneur en eau, les plantules ont accumulé des osmotocums à l'intérieur de leurs cellules dont la proline et les sucres.

La forte pression osmotique du milieu extérieur, suite à la diminution de l'humidité du sol, fait diminuer la teneur en eau chez la plante toute entière [21]. Lors d'un stress hydrique sévère chez les plantules d'arganier les stomates restent ouverts et les plantules continuent à perdre leur eau, ce qui explique la diminution de la teneur relative en eau [13].

Le stress hydrique appliqué a provoqué une augmentation des teneurs en proline. Il est établi que l'accumulation de la proline a été fréquemment évoquée comme réponse à un type de stress abiotique [22]. La proline est considérée comme l'une des stratégies adaptatives déclenchées par la plante face aux contraintes de l'environnement [23]. Selon Cechin *et al.* [24], l'augmentation de la teneur en proline est reliée directement à l'application du stress hydrique. Elle agit comme soluté pour l'ajustement osmotique et sert aussi de réservoir de composés azotés et de carbone pour une utilisation ultérieure dans la croissance. Les sucres solubles ont aussi connu une augmentation de la concentration en fonction de l'intensité du stress appliqué. De nombreux travaux ont montré que les sucres solubles figurent parmi les composés osmotiques les plus fréquemment accumulés au cours des stress environnementaux comme chez l'acacia [25] et l'arganier [13]. La forte accumulation de proline et de sucres solubles induite par le stress hydrique, contribue à la protection des systèmes enzymatiques et membranaires, ce qui permettrait la poursuite des processus physiologiques et biochimiques en condition de sécheresse sévère [26]. Les résultats obtenus concernant la réponse biochimique, analysée à travers l'expression d'accumulation de la proline et des sucres solubles sont en accord avec ceux de Benhassaini *et al.* [27].

CONCLUSION

Le stress hydrique appliqué aux plantules de *P. atlantica* a induit une réduction de la hauteur de la tige et de la teneur relative en eau des feuilles. Une accumulation de proline et de sucres solubles dans les feuilles est observée. Les réponses morphologiques et physiologiques des plantules de pistachier de l'Atlas vis-à-vis du stress hydrique contribuent efficacement au mécanisme de tolérance de l'espèce à la sécheresse.

Cependant, il est très difficile expérimentalement de cerner précisément les caractéristiques de la sécheresse à laquelle le pistachier de l'Atlas est confronté dans son aire de distribution. Les résultats obtenus doivent être confirmés à des stades plus avancés en plein champ pour élucider les mécanismes d'adaptation de l'espèce à la sécheresse en prenant compte les conditions climatiques réelles des zones arides et semi-arides.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]. Hopkins W. G. (2003). Physiologie végétale. Edition De Boeck Université, 514 p.
- [2]. Bouaouina S., Zid E. & Hadji M. (2000). Tolérance à la salinité, transport ionique et fluorescences chlorophylliennes chez le blé dur (*Triticum durum* L.). Option Méditerranéennes N°40, 239-243.
- [3]. Wang W.X., Brak T., Vinocur B., Shoseyov O. & Altman A. (2003). Abiotic resistance and chaperones: possible physiological role of SP1, a stable and stabilising protein from Populus. In: Vasil IK Ed. Plant biotechnology 2000 and beyond. Kluwer, Dordrecht, pp. 439-443.
- [4]. Maury P., Langlade N., Grieu P. *et al.* (2011). Ecophysiologie et génétique de la tolérance à la sécheresse chez le tournesol. Innovations Agronomiques, 14, 123-138.
- [5]. Zid E. & Grignon C. (1991). Les tests de sélection précoce pour la résistance des plantes aux stress: cas des stress salin et hydrique. II^{ème} journées scientifiques du réseau de biotechnologie végétale. L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides. éd., Paris, 91-108.
- [6]. Monjauze A. (1968). Répartition et écologie de *P. atlantica* Desf. En Algérie. Bulletin de la Société Naturelle de l'Afrique du Nord T. 56:10-43
- [7]. Benaradj A., Boucherit H., Bouazza M. & Hasnaoui O. (2015). Ethnobotanique du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica*) auprès la population de Béchar (Algérie occidentale). Journal of Advanced Research in Science and Technology. 2(1), 139-146.
- [8]. Belhadj S., Derridj A., Auda Y., Gers C. & Gauquelin T. (2008). Analyse de la variabilité morphologique chez huit populations spontanées de *Pistacia atlantica* en Algérie. Botany, 86,520-532.

- [9]. **El Zerey-Belaskri A. & Benhassaini H. (2016).** Morphological leaf variability in natural populations of *Pistacia atlantica* Desf. subsp. *atlantica* along climatic gradient: new features to update *Pistacia atlantica* subsp. *atlantica* key. *International Journal Biometeorology*, 60: 577–589. doi:10.1007/s00484-015-1052-4.
- [10]. **Barrs H.D. & Weatherley P.E. (1962).** Re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. *Australian Journal Scientific*, 15-412.
- [11]. **Troll W. & Lindsley J. (1955).** A photometric method for the determination of proline. *Journal of Biological Chemistry*, 215, 655-660.
- [12]. **Dubois M., Gilles k.A., L., Hamilton J.K., Rebers P.A. & Smith F. (1956).** Colorimetric method for determination of sugar and related substance analytical, *Chemistry*, 28, 14-15.
- [13]. **Berka S. & Aïd F. (2009).** Réponses physiologiques des plants d'*Argania spinosa* (L.) Skeels soumis à un déficit hydrique édaphique. *Sécheresse*, 20 (3) , 296-302.
- [14]. **Albouchi A., Bejaoui Z. & El Aouni M.H. (2003).** Influence d'un stress hydrique modéré ou sévère sur la croissance de jeunes plants de *Casuarina glauca* Sieb. *Sécheresse*, 14, 137-142.
- [15]. **Aussenac G. & Finkelsten D. (1983).** Influence de la sécheresse sur la croissance et la photosynthèse du cèdre. *Annales des Scientifiques Forestières*, 40 (1), 67-77.
- [16]. **Beniken L., Beqqali M., Dahan R., Benkirane R., Omari F.E., Benazouz A. et Benyahia H. (2011).** Evaluation de la résistance de dix porte-greffes d'agrumes résistants à la tristezza vis-à-vis du déficit hydrique. *Fruits*, 66 (6). pp: 373-384.
- [17]. **Manske, G.G.B. & Vlek, P.L.G. (2002).** Root architecture- wheat as a model plant. In "Plant roots: the hidden half". (Eds Y Waisel, A Eshel, U Kafkafi) pp. 249-259.
- [18]. **Khaldoun A., Chery J. & Monneveux P. (1990).** Etude de caractère d'enracinement et leur rôle dans l'adaptation au déficit hydrique chez l'orge (*Hordeum vulgare* L.). *Agronomie*, 10, 369-379.
- [19]. **Oukara F.Z., Assel A., Baghlal K. & Caouia C. (2014).** Effet du NaCl sur les paramètres morphologiques, physiologiques et biochimiques du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.). *Agrobiologia*, N 6, 67-74.
- [20]. **Boujnah D., Gouiaa M., Braham M., Guerfel M., Elloumi O., 2004.-** Essai d'irrigation de sauvegarde d'oliviers dans des conditions de sécheresse accentuée dans le semi aride : aspects ecophysiologiques de récupération. *Ezzaitouna*, 10 (1 et 2) : 9-23.
- [21]. **Slyter R. (1974).** The effect of internal water status on plant growth development and yield. In *Plant responses to climatic factors. Proceedings of the Uppsala Symposium, UNESCO.*
- [22]. **Hare P.D. & Cress W.A. (1997).** Metabolic implications of stress-induced proline accumulation in plants, *Plant Growth Regulation*, 21, 79–102.
- [23]. **Belkhdja M. & Benkabli. M. (2000).** Proline response of faba bean (*Vicia faba* L.) under salt stress. *Egyptian Journal of Agricultural Research*, 78, (1) ,185-195.
- [24]. **Cechin I., Rossi S.C., Oliveira V.C et al. (2006).** Photosynthetic responses and proline content of mature and young leaves of sunflower plants under water deficit. *Photosynthetica* 44, 1, 143-146.
- [25]. **Albouchi A., Ghrir R. & El Aouni M.H. (1997).** Endurcissement à la sécheresse et accumulation de glucides solubles et d'acides aminés libres dans les phylloides d'*Acacia Cyanophylla* Lindl. *Annales des Scientifiques Forestières*, 54, 155-168.
- [26]. **Stewart G. R. & Lee J. (1974).** The role of proline accumulation in halophytes. *Planta*, 12, 279-289.
- [27]. **Benhassaini H., Fetati A., Kaddour Hocine A. & Belkhdja M. (2012).** Effect of salt stress on growth and accumulation of proline and soluble sugars on plantlets of *Pistacia atlantica* Desf. subsp. *atlantica* used as rootstocks. *Biotechnologie Agronomie Société et Environnement* , 16 (2), 159-165.