

GLEDITSIA TRIACANTHOS L., ENTRE RÉSISTANCE AU STRESS HYDRIQUE ET STATUT ÉCOLOGIQUE : QUELLE PLACE POUR CETTE ESPÈCE DANS LE CADRE DE LA RÉHABILITATION DES ZONES DÉGRADÉES EN ALGÉRIE

GRANDI Mohamed^{1*}, KEBBAS Salima¹, RIHANE Yasmine¹, BENHBILES Fares¹, GUENDOOUZ-BENRIMA Atika² et HIRCHE Aziz³

1. Université de Blida1, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Département de Biologie des Populations et des Organismes, B.P. 270, route de Soumâa, Blida 09000, Algérie.
2. Université de Blida1, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Département des Biotechnologies, Laboratoire de Biotechnologie des Productions végétales, B.P. 270, route de Soumâa, Blida 09000, Algérie.
3. USTHB / Faculté des Sciences Biologiques, Laboratoire d'Écologie Végétale et Environnement. Alger, Algérie.

Reçu le 08/10/2020, Révisé le 19/12/2020, Accepté le 31/12/2020

Résumé

Description du sujet : *Gleditsia triacanthos* L. ou Févier d'Amérique est une espèce ligneuse, de croissance de croissance rapide, pouvant tolérer une large gamme de conditions extrêmes, dont la sécheresse. Son utilisation peut être envisagée dans un cadre de réhabilitation, reboisement ou reverdissement de zones dégradées.

Objectifs : Dans ce travail, nous nous proposons d'étudier d'une part l'effet du déficit hydrique sur la physiologie et la croissance de la plante au stade juvénile, afin d'évaluer sa résistance à la sécheresse, et d'autre part évaluer son statut écologique quant à sa place dans les programmes de réhabilitation de régions dégradées.

Méthodes : Evaluation du pouvoir germinatif avant et après scarification mécanique et simulation d'un stress hydrique appliqué par arrêt d'arrosage sur quelques paramètres physiologiques et morphologiques sur les jeunes plantules de *Gleditsia triacanthos* L. âgées de 6 semaines.

Résultats : Sans levée de l'inhibition tégumentaire, le pouvoir germinatif des graines est pratiquement absent, alors qu'il est de 98% pour les graines ayant subi une scarification. *Gleditsia triacanthos* L. au stade juvénile semble très bien tolérer des niveaux importants de stress hydrique.

Conclusion : Du fait de sa résistance au stress hydrique *Gleditsia triacanthos* L. ou Févier d'Amérique pourrait constituer une alternative intéressante dans le cadre de la réhabilitation de zones dégradées tout en constituant aussi un excellent appoint fourrager.

Mots clés : *Gleditsia triacanthos* L. ; Févier d'Amérique ; stress hydrique ; statut écologique ; zones dégradées.

GLEDITSIA TRIACANTHOS L., BETWEEN RESISTANCE TO WATER STRESS AND ECOLOGICAL STATUS: WHAT PLACE FOR THIS SPECIES IN THE CONTEXT OF THE REHABILITATION OF DEGRADED AREAS IN ALGERIA

Abstract

Description of the subject: *Gleditsia triacanthos* L. or honey locust is a woody, fast growing species that can tolerate a wide range of extreme conditions, including drought. Its use can be considered in the context of rehabilitation, reforestation or re-greening of degraded areas.

Objective: In this work, we propose to study on the one hand the effect of the water deficit on the physiology and the growth of the plant at the juvenile stage, in order to evaluate its resistance to drought, and on the other hand to evaluate its ecological status as to its place in rehabilitation programs for degraded regions.

Methods: Evaluation of germination power before and after mechanical scarification and simulation of water stress applied by stopping watering on some physiological and morphological parameters on young seedlings of *Gleditsia triacanthos* L. aged 6 weeks.

Results: Without removal of seed coat inhibition, the germination power of seeds is practically absent, while it is 98% for seeds that have undergone scarification. *Gleditsia triacanthos* L. in the juvenile stage appears to well tolerate high levels of water stress.

Conclusion: Because of its resistance to water stress, *Gleditsia triacanthos* L. could be an interesting alternative for the rehabilitation of degraded areas while also constituting an excellent supplement for fodder.

Keywords: *Gleditsia triacanthos* L.; honey locust; water stress; ecological status; degraded areas.

*Auteur correspondant: GRANDI Mohamed, E-mail: grandim6@gmail.com

INTRODUCTION

Les problèmes de sécheresse et de désertification constituent une réelle menace pour les pays qui en souffrent. Chaque année des milliers d'hectares de terres sont perdus en faveur de paysages marqués par un faible recouvrement et des sols squelettiques, c'est l'expression même du phénomène de la désertification. En Algérie, c'est l'écosystème steppique, qui en constitue le parfait exemple, tant ce dernier a souffert des conséquences de la sécheresse et de la désertification [1, 2]. Une étude menée par Hirche *et al.* [3] dans le sud-ouest du pays, a montré une tendance à l'assèchement au sud oranais. Ceci va se traduire non seulement par une augmentation des températures, un déficit en précipitations, mais aussi par l'extension des caractères de salinité des sols qui aggravent la dégradation des terres et menacent le développement des plantes. L'eau, est indiscutablement, un élément vital des tissus, mais aussi le vecteur de toutes les substances nécessaires au fonctionnement des végétaux. Devant ses contraintes, ces derniers développent des stratégies d'adaptation et de régulation en activant des mécanismes adéquats [4]. Les conséquences d'un stress hydrique sont essentiellement une diminution de croissance ainsi qu'une réduction de l'activité photosynthétique et de la productivité végétale [5]. Avec quelques 3300 espèces vasculaires spontanées dont 168 endémiques, l'Algérie dispose d'importantes ressources phytogénétiques. Ces dernières jouent un rôle dans le maintien de l'équilibre écologique des écosystèmes naturels de par leurs spécificités, comme la tolérance à la sécheresse, à la salinité, aux hautes températures, au gel, à la résistance aux maladies et enfin l'adaptation aux milieux difficiles. Ce matériel végétal n'est malheureusement très peu ou pas exploité dans le secteur de la production agricole ou de la recherche. Parmi ces ressources phytogénétiques, *Gleditsia triacanthos* L. ou Févier d'Amérique, semble être une espèce intéressante. En Algérie, Cette essence originaire d'Amérique du Nord, fut introduite dans les années cinquante dans la région du Sersou (partie centrale des Hauts Plateaux), comme arbre fournissant un excellent appoint fourrager, brise vent et dans la composition de haies épineuses [6]. De croissance rapide, cette espèce peut tolérer une large gamme de conditions pédoclimatiques [7], dont la sécheresse [8].

Gleditsia triacanthos L. est une espèce possédant de propriétés physiologiques et biochimiques lui permettant de résister à la déshydratation temporaire de ses tissus. Sur le plan écologique, de nombreux auteurs la considèrent comme envahissante [9-13]. Nous nous proposons donc, d'analyser l'effet du déficit hydrique sur la physiologie et la croissance sur les jeunes plantules de *Gleditsia triacanthos* L., afin de mettre en exergue sa résistance à la sécheresse. D'autre part, il serait pertinent d'évaluer son statut écologique avant son utilisation dans des programmes de réhabilitation des régions dégradées, mais aussi comme appoint fourrager en période de disette.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

1. Matériel végétal

Le matériel végétal est constitué de graines de *Gleditsia triacanthos* L. Les graines nous ont été fournies, en 2016, par l'Institut National de Recherche Forestière (INRF) station de Bainem, Alger, Algérie.

2. Méthodes

2.1. Localisation de l'essai

L'essai a été réalisé en deux étapes. L'évaluation du taux de germination des graines et le suivi de la croissance des plantules ont été réalisés au niveau de la serre de l'Établissement de Développement des Espaces Verts d'Alger (EDEVAL) situé à Bab Ezzouar, Alger. Le dispositif d'application du stress hydrique, par arrêt d'arrosage, et les mesures des paramètres physiologiques et morphologiques ont été réalisés au niveau du Laboratoire de recherche en biotechnologies des productions végétales de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'Université Saad Dahlab de Blida1.

2.2. Taux de germination

Les graines ont été désinfectées, par immersion durant une minute dans une solution d'hypochlorite de sodium (NaClO 12°) à 2,6 % de chlore actif. Elles sont ensuite été rincées à l'eau distillée. Les graines ont été séparées en deux lots : dans le premier lot les graines n'ont pas été scarifiées, et dans le second, les graines ont été scarifiées mécaniquement à l'aide d'un petit couteau dont la lame a été préalablement désinfectée, tout en prenant bien soin de ne pas altérer l'embryon. Après trois jours de germination, les graines germées ont été comptées et le taux de germination a été calculé.

2.3. Conditions de culture

Après une imbibition de six heures dans de l'eau distillée les graines sont mises en germination à l'étuve à 28°C, pendant une durée de trois (03) jours, suite à laquelle les plantules sont transplantées dans des pots ayant une capacité de 400 ml, à raison d'un plant par pot. Le substrat de culture utilisé est le terreau pour géranium (hydrocontrol kb, France). Les pots ont été placés sous conditions semi contrôlées sous serre ; ils ont été irrigués régulièrement pendant six semaines. A la fin des six semaines, les plantules ont été réparties en deux lots, de manière aléatoire et en total randomisation. Le lot témoin a été arrosé régulièrement à raison d'un jour sur deux pour maintenir 80% de capacité au champ. Le second lot, représentant les plants stressés a été totalement privé d'eau. La durée totale du stress a été de 19 jours. Les mesures ont été faites le 1^{ier}, 4^{ème}, 7^{ème}, 10^{ème}, 13^{ème}, 16^{ème} et 19^{ème} jour.

2.4. Paramètres physiologiques

- *Teneur en eau de sol (TES)* : Cette teneur est estimée par une méthode gravimétrique. 30 g de sol sont prélevés et pesés représentant le poids frais du sol (P_{FS}) puis mis à sécher à l'étuve à 105°C pendant 48h pour obtenir le poids sec du sol (P_{SS}). Le calcul de la teneur se fait selon la formule : $TES = [(P_{FS} - P_{SS}) / (P_{FS})] \times 100$. Les mesures ont été réalisées chaque trois jour depuis le premier jour d'arrêt d'arrosage avec cinq plants témoins et cinq plants stressés.

- *Mesure de la teneur relative en eau (TRE)* : La TRE exprime la quantité d'eau présente en pourcentage de la quantité mesurée à saturation et permet une évaluation physiologique de l'état hydrique du végétal au même titre que le potentiel hydrique. Il est le paramètre le plus communément employé à ce jour. Son estimation se fait suivant la formule : $TRE = [(P_F - P_S) / (P_{Sat} - P_S)] \times 100$ [14]. Le poids frais (P_F) est déterminé par la pesée de la feuille immédiatement après son prélèvement. Le poids à la saturation (P_{Sat}) est obtenu en plongeant la feuille dans l'eau distillée pendant 16h heures à l'obscurité. Le poids sec est obtenu en plaçant la feuille à l'étuve à 60°C jusqu'à l'obtention d'un poids constant. Les mesures ont été réalisées chaque trois jours depuis le premier jour d'arrêt d'arrosage avec cinq plants témoins et cinq plants stressés.

- *Teneur en eau de feuille* : Les feuilles sont coupées à la base du limbe puis immédiatement pesées pour obtenir leur poids frais (PF).

Les échantillons sont ensuite mis à l'étuve à 80°C pendant 48h et pesés pour avoir leur poids sec (PS). La teneur en eau de feuille est calculée selon la formule : $TEF = (PF - PS / PF) \times 100$

- *Teneur en eau de la partie aérienne (TEPA)* : Pour chaque point de mesure, nous avons séparés les parties aériennes (tige et feuilles) des parties racinaires. Chaque partie a été immédiatement pesée pour avoir les poids frais aussi bien des parties aériennes (PF_{PA}) que ceux des parties racinaires (PF_{PR}). Les échantillons à raison de 5 plants témoins et de 5 plants stressés pour chaque point de stress, ont été placés à l'étuve à 60°C et régulièrement pesés jusqu'à l'obtention d'un poids constant qui représente le poids sec des parties aérienne (PS_{PA}) et celui des parties racinaires (PS_{PR}). Les teneurs en eau des parties aériennes et racinaires ont été calculées respectivement selon les formules suivantes : $TEPA = [(PF_{PA} - PS_{PA}) / PF_{PA}] \times 100$, $TEPR = [(PF_{PR} - PS_{PR}) / PF_{PR}] \times 100$

2.5. Paramètres morphologiques

La caractérisation du développement et de la croissance durant la période du stress hydrique a été réalisée selon différents types de mesures. Nous avons déterminé aléatoirement dix plants témoins et dix stressés depuis le premier jour de la phase d'arrêt d'arrosage, et nous avons travaillé sur les mêmes plants tout au long de la période d'expérimentation pour la mesure de la hauteur et pour le nombre de feuilles.

- *La hauteur des tiges* : La hauteur totale des plants a été mesurée chaque trois jour à l'aide d'une règle graduée au millimètre. La mesure de la hauteur a concerné la partie de la plante située depuis le collet jusqu'au dernier bourgeon de la tige principale.

- *Le nombre de feuilles* : Le nombre totale des feuilles de chaque plant était compté chaque trois jours depuis le 1er jour d'arrêt d'arrosage pour les plants témoins et stressés.

2.6. Etude statistique

Les logiciels XLSTAT version 2017 et EXCEL version 2007 ont été utilisés pour les analyses statistiques et la conception des graphes.

RÉSULTATS

1. Taux de germination

Le pouvoir germinatif a été testé avant et après scarification manuelle sur une durée de 7 jours. La figure 1 montre que sans levée de l'inhibition tégumentaire, le pouvoir germinatif des graines est absent et atteint seulement les 2% après 5 jours, alors qu'il est de 98% pour les graines ayant subi une scarification (Fig.1).

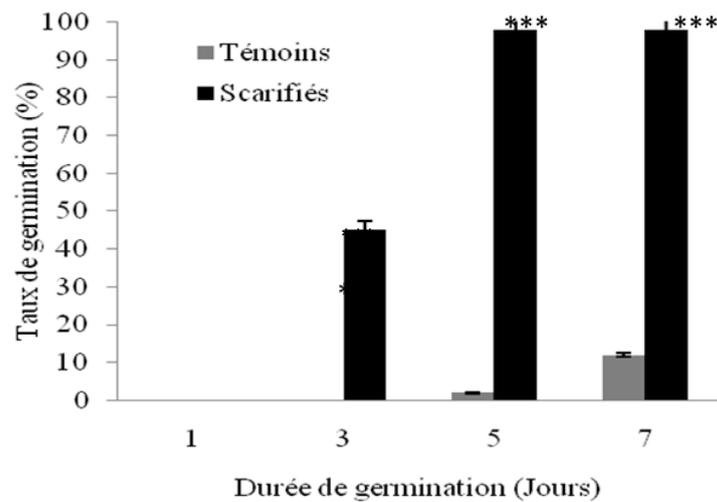


Figure 1 : Taux de germination des graines de *Gleditsia triacanthos* L. avant et après scarification. Chaque valeur représente la moyenne de cinq répétitions, les barres verticales représentent l'erreur standard, *** $p < 0.001$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.01$ représentent les niveaux de significativité des différences entre les témoins et stressés pour chaque point d'arrêt d'arrosage évalué par le test multiple de Tukey.

2. Déshydratation du sol

La déshydratation du sol tout au long de l'expérimentation a été suivie en mesurant la teneur en eau du sol (TES) par méthode gravimétrique. Celle-ci est restée stable autour de $75,7 \pm 3,47\%$ pendant les 19 jours de traitement chez les plantes témoins.

Le lot stressé montre un déclin progressif de la TES les dix premiers jours pour chuter drastiquement entre le 13^{ème} jour et le 19^{ème} jour de stress, et atteindre les $20 \pm 2,0\%$ au dernier jour de l'expérimentation indiquant une installation d'un très important déficit hydrique (Fig.2).

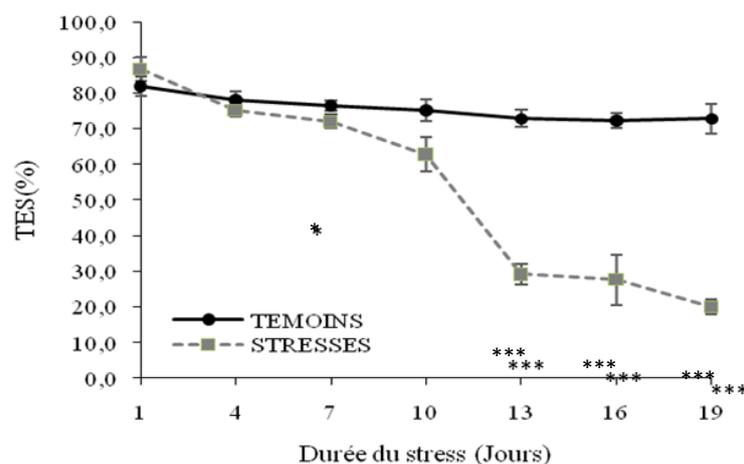


Figure 2. Effet de l'arrêt d'arrosage sur la Teneur en Eau de Sol des plants de *Gleditsia triacanthos* L. Chaque valeur représente la moyenne de cinq répétitions, les barres verticales représentent l'erreur standard, *** $p < 0.001$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.01$ représentent les niveaux de significativité des différences entre les témoins et stressés pour chaque point d'arrêt d'arrosage évalué par le test multiple de Tukey.

3. Statut de l'eau de la plante

La teneur relative en eau ainsi que la teneur en eau foliaire sont stables tout au long de l'expérimentation dans les conditions d'irrigation normale (lot témoin). Elles ne présentent aucune différence significative entre le début et la fin du traitement ($p < 0,05$). Ces teneurs se sont maintenues autour de $84,0 \pm 6,56\%$ pour la TRE et $75,7 \pm 3,21\%$ pour la TEF (Fig. 3A et Fig. 3B). Chez les plants

stressés nous constatons un déclin progressif des deux paramètres avec des valeurs comparables entre témoins et stressés. Les différences apparaissent au 10^{ème} jour d'arrêt d'arrosage pour la TRE et au 13^{ème} jour pour la TEF (Fig. 3A et 3B). Entre le 13^{ème} et 19^{ème} jour de traitement, les deux paramètres s'effondrent pour atteindre les valeurs critiques de $13,92 \pm 5,21\%$ pour la TRE et $20,00 \pm 4,40\%$ pour la TEF.

La comparaison des teneurs en eau des parties aériennes (TEPA) et racinaires (TEPR) montre que les deux paramètres évoluent de la même manière (Fig. 3C et 3D) avec apparition de

différences significatives entre plants témoins et stressés au 16^{ème} jour d'arrêt d'arrosage ($p < 0,001$).

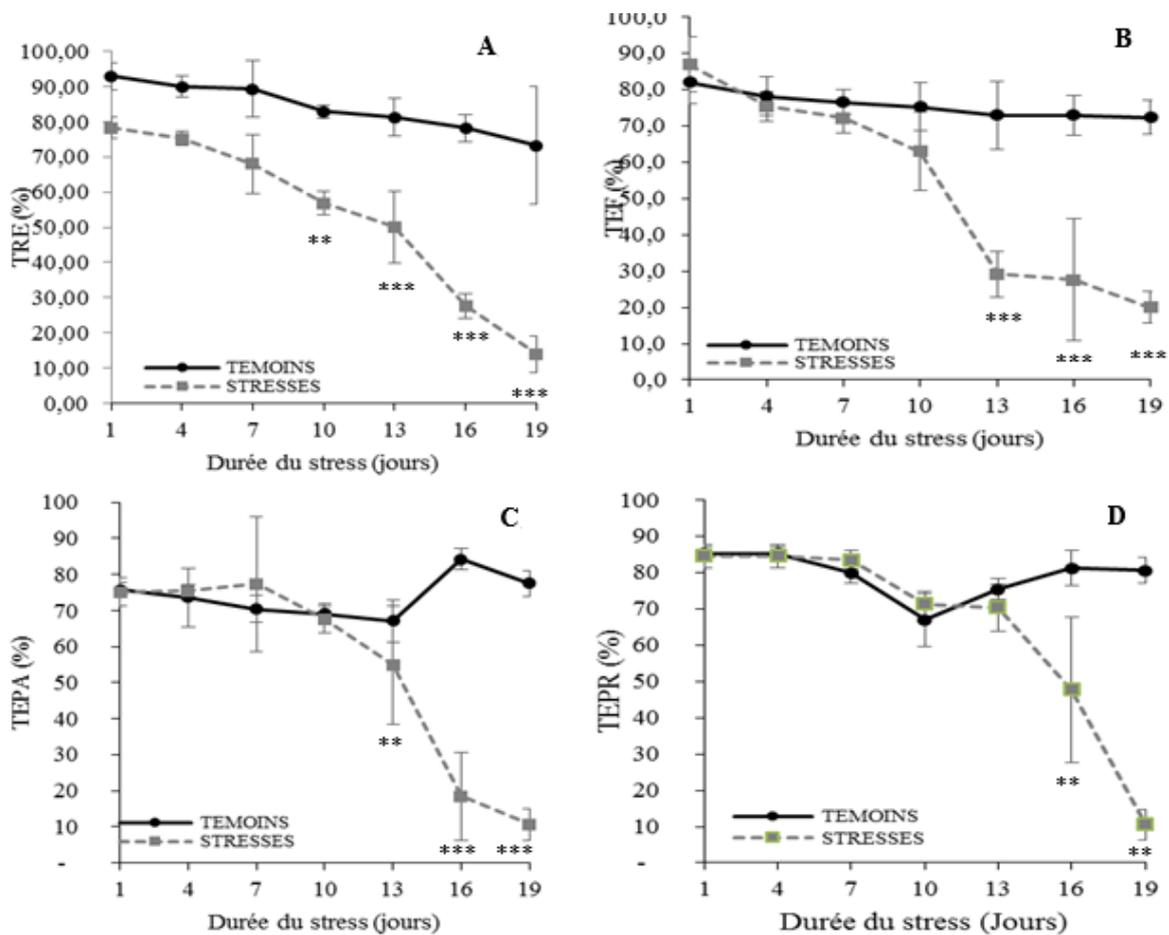


Figure 3. Effet de l'arrêt d'arrosage sur le statut de l'eau des plants de *Gleditsia triacanthos* L. (A) Teneur Relative en Eau (TRE), (B) Teneur en Eau Foliaire (TEF), (C) Teneur en Eau des Parties Aériennes (TEPA), (D) Teneur en eau des Parties Racinaires (TEPR).

Chaque valeur représente la moyenne de cinq répétitions, les barres verticales représentent l'erreur standard *** $p < 0,001$, ** $p < 0,05$, * $p < 0,01$ représentent les niveaux de significativité des différences entre les témoins et stressés pour chaque point d'arrêt d'arrosage évalué par le test multiple de Tukey.

4. Effet du stress hydrique sur la croissance

La croissance chez les plants de *Gleditsia triacanthos* L. a été évaluée à partir de la production de biomasse sèche ainsi que la mesure de la croissance caulinaire et de l'apparition de nouvelles feuilles.

4.1. Evolution de la production de biomasse sèche

La production de biomasse sèche des parties aériennes chez les plants de *Gleditsia triacanthos* L. régulièrement arrosés est en constante évolution. Les poids secs sont 2 fois plus importants entre le 1^{er} et le dernier jour (19^{ème}) d'expérimentation. En effet les valeurs passent de $0,23 \pm 0,03$ g à $0,50 \pm 0,04$ g (Fig. 4A). Pour les plants stressés, cette production diminue à partir du 10^{ème} jour avec l'installation de différences significatives à partir du 13^{ème} jour de stress ($p < 0,01$).

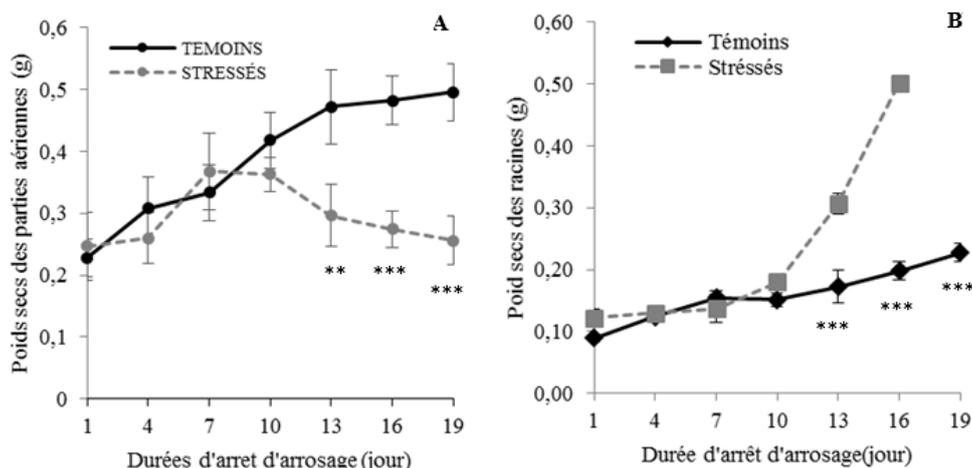


Figure 4. Effet de l'arrêt d'arrosage sur l'évolution des poids secs des parties aériennes(g) (A) et des parties racinaires (B) des plants de *Gleditsia triacanthos* L.

Chaque valeur représente la moyenne de cinq répétitions, les barres verticales représentent l'erreur standard, *** $p < 0.001$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.01$ représentent les niveaux de significativité des différences entre les témoins et stressés pour chaque point d'arrêt d'arrosage évalué par le test multiple de Tukey.

Parallèlement, les poids secs des parties racinaires n'augmentent pas significativement chez les plants témoins comparativement aux plantes stressées qui elles, montrent une nette augmentation (Fig. 4B). Les poids secs sont 5 fois plus importants entre le début (J1) et l'avant dernier jour (J16) de stress, en effet les valeurs passent de $0,12 \pm 0,014$ g à $0,502 \pm 0,03$ g (Fig. 4B).

Au 19^{ème} jour de stress, nous n'avons pas pu mesurer le poids sec des racines en raison de leur totale adhésion au sol qui était alors totalement déshydraté (Fig. 1). Ainsi le rapport PR/PA est bien plus important chez les plants stressés par rapport aux plants témoins, confirmant une augmentation de la croissance racinaire au détriment de la croissance caulinaire (Tableau 1).

Tableau 1 : Effet de l'arrêt d'arrosage sur le rapport des poids secs des parties racinaires et aériennes (PR/PA) des plants de *Gleditsia triacanthos* L.

| Période de stress (J) | Rapport PR/PA | |
|-----------------------|---------------|--------------|
| | Témoins | Stressés |
| 1 | 0,39 ± 0,37 | 0,51 ± 0,58 |
| 4 | 3,66 ± 0,19 | 0,54 ± 0,5 |
| 7 | 0,35 ± 0,42 | 0,53 ± 0,62 |
| 10 | 0,43 ± 0,33 | 0,6 ± 0,6 |
| 13 | 0,57 ± 0,46 | 1,2 ± 0,6*** |
| 16 | 0,7 ± 0,8 | 1,57 ± 0,7* |
| 19 | 0,38 ± 0,7 | (i) |

Chaque valeur représente la moyenne de 10 répétitions, les barres verticales représentent l'erreur standard, *** $p < 0.001$; ** $p < 0.05$; * $p < 0.01$ représentent les niveaux de significativité des différences entre les témoins et stressés pour chaque point d'arrêt d'arrosage évalué par le test multiple de Tukey.

4.2. Croissance caulinaire et le rythme d'apparition des feuilles

La croissance en hauteur des tiges est nettement supérieure chez les plants témoins comparativement aux plants stressés. En effet, la croissance en hauteur des plants témoins est en augmentation progressive et continue, du 1^{er} au 19^{ème} jour de l'expérimentation. Nous avons enregistré des valeurs moyenne de taille de $24,4 \pm 3$ cm au 1^{er} jour d'expérimentation, de $26,25 \pm 3,5$ cm au 7^{ème} jour d'expérimentation et enfin une valeur de 29 ± 3 cm au 19^{ème} jour

(Fig. 5A). Par contre, les plants stressés ont une croissance nettement plus faible. En effet, nous avons enregistré une augmentation lente des hauteurs des plants du 1^{er} au 7^{ème} jour d'arrêt d'arrosage avec une valeur moyenne de $19,95 \pm 3,7\%$ cm et $20,6 \pm 2,82$ cm correspondant à une teneur moyenne en eau du sol de 50% (Fig. 2) et une TRE de 70% (Fig. 3A). Du 10^{ème} au 13^{ème} jour d'arrêt d'arrosage, lorsque le sol avait perdu 20% de son eau, nous avons observé un arrêt de croissance en hauteur avec une valeur moyenne de taille des tiges de

20,5±3,2cm, cette valeur est restée stable jusqu'au 13^{ème} jour. Du 16^{ème} au 19^{ème} jour ; lorsque le sol avait perdu 40% de son eau, nous avons remarqué une réduction de la croissance en hauteur des plantes avec une taille moyenne

de tige de 14±0,1cm. Le tableau 2 montre la vitesse de croissance en hauteur des plants témoins et stressés en fonction de la durée du stress.

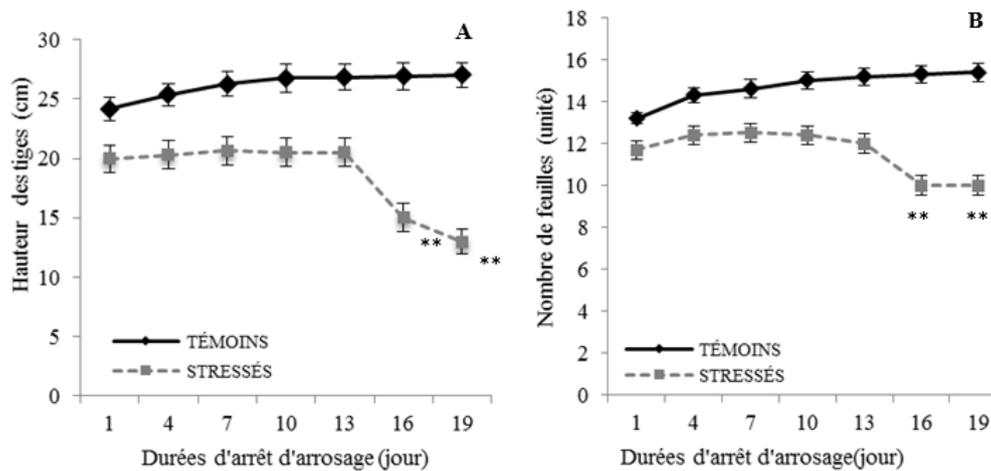


Figure 5. Effet de l'arrêt d'arrosage sur (A) l'évolution de la hauteur des tiges (cm) et (B) le nombre de feuilles (unités) des plants de *Gleditsia triacanthos* L.

Chaque valeur représente la moyenne de 10 répétitions, les barres verticales représentent l'erreur standard ***p<0.001,*p<0.01 représentent les niveaux de significativité des différences entre les témoins et stressés pour chaque point d'arrêt d'arrosage évalué par le test multiple de Tukey.

Le nombre des feuilles apparues durant la période d'expérimentation est bien plus élevé chez les plants témoins par rapport à leur nombre chez les plants stressés (Fig. 5B) Chez les plants témoins nous avons enregistré une apparition continue de feuilles avec une valeur moyenne de 13,2±0,7 feuille au 1^{er} jour et 15±1,3 unités au 10^{ème} jour et 16,5±1,9 unités au 19^{ème} jour. Par contre chez les plants stressés, on observe 3 étapes d'évolution des feuilles. Du 1^{er} au 7^{ème} jour, lorsque la TES est supérieur à 50%, et la TRE est de 70% ,

l'évolution du nombre des feuilles est en augmentation modérée, nous avons enregistré une valeur moyenne de 11,7±1,4 au 1^{er} jour et 12,5±1,5 unités au 7^{ème} jour. Du 10^{ème} au 13^{ème} jour, lorsque le sol perd 20% de son eau et que la TRE est de 50% l'évolution du nombre de feuille s'arrête. Du 16^{ème} au 19^{ème} jour, lorsque le sol perd 40% de son eau l'évolution du nombre de feuille est en régression, nous avons enregistré une valeur moyenne de 11,4±0,1 unités au 16^{ème} jour.

Tableau 2 : Effet de l'arrêt d'arrosage sur la vitesse de croissance et l'apparition des feuilles chez des plants témoins et stressés de *Gleditsia triacanthos* L.

| Période de stress (J) | Vitesse de croissance cm.j ⁻¹ | | Vitesse d'apparition des feuilles unité.j ⁻¹ | |
|-----------------------|--|------------|---|-----------|
| | Témoins | Stressés | Témoins | Stressés |
| 1 | 0,1±0,07 | 0,11±0,05 | 0,36±0,1 | 0,23±0,06 |
| 4 | 0,13±0,09 | 0,11±0,07 | 0,2±0,05 | 0,03±0,09 |
| 7 | 0,16±0,17 | 0,05±0,12* | 0,03±0,08 | 0,03±0,07 |
| 10 | 0,3±0,08 | 0* | 0,06±0,13 | 0,0*** |
| 13 | 0,4±0,12 | 0* | 0,43±0,07 | 0,0* |
| 16 | 0,4±0,12 | 0* | 0,06±0,09 | 0,0*** |
| 19 | 0,6±0,12 | 0* | | |

Chaque valeur représente la moyenne de 10 répétitions, les barres verticales représentent l'erreur standard, ***p<0.001 **p<0.05,*p<0.01 représentent les niveaux de significativité des différences entre les témoins et stressés pour chaque point d'arrêt d'arrosage évalué par le test multiple de Tukey.

La vitesse de croissance est nettement supérieure chez les plants témoins par rapport aux plants stressés (Tableau 2). Les plants témoins croissent avec une vitesse moyenne minimal de $0,1 \pm 0,007$ cm/jr et une vitesse moyenne maximale de $0,6 \pm 0,07$ cm/jr. La croissance des plants témoins est continue, elle atteint $29 \pm 3,8$ cm au 19^{ème} jour de l'expérimentation. Par contre, chez les plants stressés la vitesse de croissance est nettement inférieure à celle des plants témoins avec une vitesse moyenne maximale de croissance de $0,11 \pm 0,07$ cm/jr. Cette valeur est stable durant la période de faible stress mais elle ne tarde pas à diminuer jusqu'à une valeur nulle durant la période du stress hydrique sévère.

Il en est de même pour la vitesse de production de feuilles qui est plus importante chez les plants témoins comparativement aux plants stressés. Chez les plants témoins la vitesse moyenne minimale de production des feuilles est de $0,03 \pm 0,08$ feuille jr^{-1} et la vitesse moyenne maximale est de $0,4 \pm 0,07$ feuille/jr soit une apparition de 3,3 feuilles durant l'expérimentation (Tab.2, Fig. 5B).

DISCUSSION

Nos résultats montrent que les jeunes plantules de *Gleditsia triacanthos* L. ont bien réagi à différents niveaux du stress hydrique appliqué. En effet, les plantules ont réussi à maintenir leur turgescence durant 10 jours de stress puisque la TRE reste autour de 65%. Période au cours de laquelle la croissance est également restée stable. Entre le 13^{ème} et 19^{ème} jour de traitement, on observe, une perte de la turgescence et une déshydratation importante des tissus, avec l'effondrement des paramètres étudiés (TRE, TEF, TEPA et TEPR). Le maintien de la turgescence chez *Gleditsia triacanthos* L. est dû à l'accumulation de très fortes teneurs en proline ainsi que des polyphénols [15]. Le mécanisme d'osmorégulation chez cette espèce tend à s'installer dès les premiers jours de stress. L'accumulation d'osmolytes compatibles serait également impliquée dans le piégeage des espèces réactives d'oxygène et protégerait ainsi la plante des dommages du stress oxydant inhérent au stress hydrique. Un comportement semblable a été observé chez de nombreuses plantes : l'orge et la fétuque [14], le blé [16-18], et chez de nombreux ligneux tel que *Casuarina glauca* [19]. La caractérisation du statut hydrique d'une plante pourrait passer par la seule évaluation de la teneur relative en eau.

Clarke et McCraig [20] attirent l'attention sur l'utilisation de la TRE comme indicateur de l'état hydrique de la plante sous stress. La teneur en eau en plus de sa relation avec le volume cellulaire reflète plus précisément la balance entre l'eau disponible dans la feuille et le taux de transpiration, le potentiel osmotique et de turgescence. Certaines études précédentes [13, 21, 22] ont montré que le maintien d'une TRE relativement élevée en légère période de stress est un indicateur de tolérance à la sécheresse. Aussi, les espèces tolérantes au stress hydrique, sous stress, seraient celles qui soient capables de perdre le moins d'eau par unité de temps et unité de surface [23]. Une diminution de la TRE indique la gravité de la déshydratation, alors que l'ajustement osmotique peut échouer à maintenir la turgescence dans les tissus affectés, ainsi que sa capacité d'extraire l'eau par les racines [24]. Lorsque le sol avait perdu plus de 40% de son eau, la croissance de la partie aérienne (tige, feuilles) était en régression contrairement à celle des parties souterraines (racines). Chez *Gleditsia triacanthos* L. à l'instar des autres légumineuses arbustives, l'augmentation du rapport PR/PA indique la présence d'un mécanisme d'adaptation morphologique et une stratégie de résistance conduisant la plante à accroître sa surface racinaire et donc sa capacité à absorber l'eau. D'après Turner *et al.* [25], l'efficacité de l'extraction de l'eau du sol par les racines figure parmi les types d'adaptation permettant à la plante d'éviter ou, plus exactement, de retarder la déshydratation de ses tissus. Au niveau des couches superficielles du sol, l'irrigation augmente la surface des racines et amplifie le rapport (surface/poids) des racines. Les racines les plus fines pourraient, alors, améliorer l'exploration du sol et l'extraction de l'eau [26]. Le déficit en pluies est une contrainte pour la croissance des plantes, particulièrement en régions arides et semi arides où l'eau est une ressource rare et précieuse. Il induit chez les plantes stressées une diminution du contenu en eau, et une réduction significative de la production de biomasse totale [19]. La réduction de la croissance est donc l'une des premières manifestations du déficit hydrique. Elle limite sérieusement la croissance des plantes ainsi que leur productivité végétative [27, 28, 5]. D'après Tazi *et al.* [29], Les plantes soumises à un stress hydrique subissent un dépérissement progressif puis rapide, aussi leurs poids frais et sec et leur composition minérale seront réduits.

Aspinall [30], avait lui aussi signalé que le déficit en eau entraîne une réduction de la hauteur de la tige et de la croissance végétative, particulièrement l'expansion des feuilles. Cet effet dépressif du stress hydrique sur la hauteur de la tige a été également signalé par plusieurs auteurs chez différentes espèces notamment *Vicia faba* L., *Medicago sativa* L. et *Cicer arietinum* L. [31-33]. La capacité des plantes à s'acclimater au déficit hydrique est donc associée à leur aptitude à s'adapter à la diminution de la photosynthèse qui entraîne des perturbations dans de multiples processus biochimiques et physiologiques (taux de transpiration, conductance stomatique, efficacité d'utilisation de l'eau, absorption de CO₂) et un impact négatif sur la croissance [34]. Une altération des pigments photosynthétiques a été signalée chez *Gleditsia triacanthos* L. [15]. La réduction de la croissance foliaire pourrait être bénéfique aux plantes soumises à un stress hydrique, la surface des feuilles est diminuée et la transpiration réduite par l'enroulement des feuilles. Sur le plan écologique, *Gleditsia triacanthos* L. se développe dans un environnement humide à subhumide. Ce grand arbre épineux à feuilles caduques, appartient au genre *Gleditsia* et à la famille des Fabacées, ou Légumineuses (Sous-famille des Caesalpinioideae) [35]. Il est doté d'une grande rusticité et d'une croissance rapide pouvant atteindre 35 à 45 m de haut [36]. Selon la classification américaine des sols, le Févier d'Amérique est rencontré sur des alfisols, andosols ou même des mollisols qu'on retrouve dans les régions semi-arides ou humides. Selon Benhamiche [36], cette espèce possède une grande plasticité écologique car très résistante à la sécheresse et tolère les sols acides, préférentiellement un pH légèrement acide à alcalin (pH entre 6 et 8). En Algérie, le Févier d'Amérique a fait son apparition dans les années cinquante sous le nom d'acacia. Il fut utilisé avec succès, par le service de Défense et Restauration des Sols (DRS) de l'époque, qui était chargé de l'aménagement et de la reconstitution de la couverture sylvo-pastorale. Les récoltes de fèves étaient quasi similaires à celles de caroubes de la plaine de la Mitidja (jusqu'à 100 q/h). Face à un tel résultat, on pouvait imaginer, comme pour le caroubier, l'organisation du marché de la fève, avec mise au point de la récolte, de la conservation, et de la transformation en produits d'alimentation complexes avec même des sous-produits pharmaceutiques [6].

Sur le plan de la reproduction, *Gleditsia triacanthos* L. présente une forte production de graines, avec une large dispersion et des pourcentages de germination plus élevés que les espèces indigènes [37]. C'est aussi une espèce à croissance rapide ; pour toutes ces raisons, cette espèce est considérée comme envahissante. En Algérie, le Févier d'Amérique est très probablement en phase de naturalisation, puisque il arrive à produire une population viable. Selon Richardson et al. [38], cette phase est l'avant dernière si l'on se réfère aux quatre phases d'invasion biologique (introduction, acclimatation, naturalisation et invasion). Selon Benhamiche [36], le Févier d'Amérique arrive à s'adapter et à se reproduire sous le climat local. Les mesures biométriques, le calcul du nombre de graines par gousse, le poids de 100 graines ainsi que la période de floraison et de fructification sont presque identiques à celles des spécimens du pays d'origine. Depuis l'indépendance, l'Algérie a initié de nombreux projets visant à la restauration et à la réhabilitation des terres dégradées, suite à de sévères épisodes de sécheresse. Le plus important projet reste incontestablement le barrage vert, qui visait non seulement à reverdir les régions dégradées au niveau de la frange steppique, mais aussi à freiner l'avancée du désert vers les terres fertiles du nord du pays en s'érigeant en véritable muraille verte. Un demi-siècle plus tard, le bilan de ces actions reste mitigé, principalement à cause de nombreuses erreurs commises dont les reboisements en monoculture (Pin d'alep), ravagés par la chenille processionnaire du pin [39]. Selon Bensaid [39], l'examen du bilan de vingt années d'efforts a montré que sur les 160 000 hectares de plantations prévus, seuls 120 000 hectares ont été réalisés avec un taux de réussite de 42 %. Depuis 2016, la Direction générale des Forêts (DGF), a mis en place un plan d'actions en faveur de la réhabilitation des terres dégradées, dont des actions socioéconomiques en faveur des populations locales, qui engloberaient la restauration des terres, l'amélioration de la couverture forestière et l'accompagnement des éleveurs à travers la valorisation des pratiques ancestrales d'élevage. Ces actions prendraient surtout en considération, l'aspect des changements climatiques, des conditions pédoclimatiques de la région à traiter, le rétrécissement du calendrier agricole ainsi que la mise en œuvre de nouvelles pratiques agricoles. À l'horizon 2021, l'Algérie ambitionne la plantation de 43 millions d'arbres ;

l'équivalent de sa population. Parallèlement, un autre programme d'amélioration pastorale est aussi prévu, à travers l'introduction d'espèces fourragères (*Atriplex halimus*, *Medicago arborea*, etc.) et d'autres essences forestières très rustiques à l'image de l'olivier de Bohème (*Elaeagnus angustifolia*), du genévrier de Phénicie (*Juniperus phoenicea* L.) ou du chêne vert (*Quercus ilex* L.). A cet effet, quatre aires d'intervention sont visées dont les aires où la reprise biologique est quasi inexistante et où l'intervention humaine est inévitable, l'aire du barrage vert, les aires de protection des infrastructures menacées par l'ensablement (aéroports, voies ferrées et routes) et enfin les aires qui doivent être aménagées pour l'amélioration du cadre de vie des citoyens (espaces verts récréatifs et de détente). L'Algérie se doit de composer avec toute sa biodiversité afin de concrétiser ses actions visant la préservation des écosystèmes fragiles ou sensibles [40]. À ce titre, le Févier d'Amérique, au vu de sa croissance rapide, sa rusticité et sa résistance aux conditions pédoclimatiques sévères [7], dont la sécheresse [8], pourrait trouver place dans certains programmes de reboisement, d'autant plus que sa multiplication en pépinière s'est révélée particulièrement facile [6]. Par ailleurs, selon Benhamiche [36], les graines et les gousses de *Gleditsia triacanthos* L. sont très riches en éléments de base comme le potassium (K), le calcium (Ca) et le magnésium (Mg), ce qui en fait excellent fourrage. Ses fruits sont très appréciés du bétail. Les graines sont très riches en protéines (pas moins de 12 à 13 %), et les gousses contiennent jusqu'à 42% de glucides. Les feuilles sont elles aussi une excellente source de fourrage avec 20% de protéines brutes et un faible taux de lignines [7]. Les fleurs de cette espèce sont très attractives aux insectes pollinisateurs [41]. Le févier d'Amérique est aussi une source de pollen et de nectar pour les abeilles [42]. L'histoire de vie du Févier d'Amérique présente plusieurs traits qui lui confèrent un potentiel invasif très élevé [9-12] mais aucun de ces traits n'a été universellement reconnu comme une garantie de succès d'invasion [43]. Il est donc envisageable de l'utiliser à côté d'autres espèces déjà sélectionnées et considérées elles aussi comme invasives. Cette utilisation, si elle doit être envisagée, se ferait dans un cadre de suivi écologique à moyen ou long terme, et concernera en priorité les zones dégradées,

principalement en zones steppiques marqués par la faiblesse et l'irrégularité des précipitations (entre 200 et 400 mm en moyenne). *Gleditsia triacanthos* L., peut aussi très bien servir de limites ou de haies épineuses à des parcelles mises en défens ou souffrant de surpâturage, d'érosion éolienne ou de manque de vert.

CONCLUSION

Sans levée de l'inhibition tégumentaire, le pouvoir germinatif des graines est pratiquement absent, alors qu'il est de 98% pour les graines ayant subi une scarification. Au stade juvénile, *Gleditsia triacanthos* L., tolère des niveaux importants de stress hydrique. Les plantules ayant réussi, durant 10 jours de stress, à maintenir leur turgescence, leur croissance ainsi qu'une teneur relative en eau (TRE) autour de 65%. Lorsque le sol avait perdu plus de 40% de son eau, il a été noté l'augmentation du rapport PR/PA chez les plants stressés. Ceci dénote de l'existence chez les jeunes plants du Févier d'Amérique de mécanismes d'adaptations morphologiques à même de réduire la transpiration en réduisant leur croissance foliaire et en augmentant de manière significative leur surface racinaire. Ce dernier mécanisme leur permet ainsi une meilleure exploration du sol afin d'en extraire l'eau. En Algérie, les actions de réhabilitation et de reverdissement des zones dégradées, où les conditions écologiques peuvent être très sévères, l'utilisation de *Gleditsia triacanthos* L., semble une alternative envisageable au vu de sa capacité à résister au stress hydrique, à sa croissance rapide et à ses qualités d'excellent appoint fourrager.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] **Le Houérou, H. N. (1995).** Considérations biogéographiques sur les steppes arides du nord de l'Afrique. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 6(2), 167-182.
- [2] **Aïdoud, A., Le Floch, É., & Le Houérou, H. N. (2006).** Les steppes arides du nord de l'Afrique. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 17(1), 19-30.
- [3] **Hirche, A., Boughani, A., & Salamani, M. (2007).** Évolution de la pluviosité annuelle dans quelques stations arides algériennes. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 18(4), 314-320.
- [4] **Bouchelaghem, S. (2012).** Contribution à l'étude de l'impact d'un engrais couramment utilisé en Algérie (NPK) sur la croissance, le métabolisme et le développement racinaire d'un modèle végétal: blé dur (*Triticum durum* Desf) (Doctoral dissertation, Université de Annaba-Badji Mokhtar).

- [5] Wang, W., Vinocur, B., & Altman, A. (2003). Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. *Planta*, 218(1), 1-14.
- [6] Putod, R. (1982). Les arbres fourragers. Le févier. Forêt méditerranéenne.
- [7] Blair, R., M. (1990). *Gleditsia triacanthos* L. Criquet pèlerin. *Manuel d'agriculture des feuillus*. Vol2, Tech. Coords. Silviques de l'Amérique du Nord, Washington DC, USDA Forest Service, pp.358-364.
- [8] Danso, S. K. A., Zapata, F., & Awonaiké, K. O. (1995). Measurement of biological N₂ fixation in field-grown Robinia pseudoacacia L. *Soil Biology and Biochemistry*, 27(4-5), 415-419.
- [9] Vitousek, P. M., & Walker, L. R. (1989). Biological invasion by *Myrica faya* in Hawaii: plant demography, nitrogen fixation, ecosystem effects. *Ecological monographs*, 59(3), 247-265.
- [10] Burton, P. J., & Bazzaz, F. A. (1991). Tree seedling emergence on interactive temperature and moisture gradients and in patches of oldfield vegetation. *American Journal of Botany*, 78(1), 131-149.
- [11] Rejmanek, M., & Richardson, D. M. (1996). What attributes make some plant species more invasive?. *Ecology*, 77(6), 1655-1661.
- [12] Reichard, S. H., & Hamilton, C. W. (1997). Predicting invasions of woody plants introduced into North America: Predicción de Invasiones de Plantas Leñosas Introducidas a Norteamérica. *Conservation Biology*, 11(1), 193-203.
- [13] Colombo Speroni, F., & de Viana, M. L. (2001). Community characteristics in a mountain forest invaded by *Gleditsia triacanthos* L. (Fabaceae). by G. Brundu, J. Brock, I. Camarda, L. Child and M. Wade. Backhuys Publishers. Leiden, The Netherlands, 75-82.
- [14] Bennaceur, M., 1994. Contribution à l'évaluation du degré de résistance aux contraintes hydriques (sécheresse et excès d'eau) chez l'orge (*Hordeum vulgare*) et la féluque (*Festuca arundinacea*). Gembloux, Belgique.
- [15] Kebbas, S., Benseddik, T., Makhlof, H., & Fatiha, Aid. (2018). Physiological and Biochemical Behaviour of *Gleditsia triacanthos* L. Young seedlings under drought stress conditions. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 46(2), 585-592.
- [16] El-Jaafari, S., 2000. Sélection de blé dur pour la résistance aux stress abiotiques: Définition de traits et de critères physiologiques. *Options Méditerranéennes: Serie A*, 40, pp.251-256.
- [17] Ykhlef, A. (2001). Adaptation photosynthétique et résistance à la sécheresse chez le blé dur (*Triticum turgidum* L. Var. durum).
- [18] Nouri, L., Ykhlef, N., & Djekoun, A. (2002). Adjustment osmotique et comportement hydrique chez certaines variétés du blé dur: relation avec tolérance à la sécheresse. *Actes de séminaire III ème journées Scientifiques sur le blé.(éd). Université de Mentouri Constantine*.
- [19] Albouchi, A., & Abbassi, M. (2000). Effet du paillage plastique noir sur la survie et la croissance de six espèces forestières plantées en brise-vent en région semi-aride. *Annales de l'Institut National de Recherches en Génie Rural, Eaux et Forêts*, 4, 40-61.
- [20] Clarke, J. M., & Mccaig, T. N. (1982). Leaf diffusive resistance, surface temperature, osmotic potential and 14CO₂-assimilation capability as indicators of drought intensity in rape. *Canadian Journal of Plant Science*, 62(3), 785-789.
- [21] Jamaux, I., Steinmetz, A., & Belhassen, E. (1997). Looking for molecular and physiological markers of osmotic adjustment in sunflower. *New Phytologist*, 137(1), 117-127.
- [22] Altinkut, A., Kazan, K., Ipekci, Z., & Gozukirmizi, N. (2001). Tolerance to paraquat is correlated with the traits associated with water stress tolerance in segregating F₂ populations of barley and wheat. *Euphytica*, 121(1), 81.
- [23] Chennafi, H., Aïdaoui, A., Bouzerzour, H., & Saci, A. (2006). Yield response of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivar Waha to deficit irrigation under semi arid growth conditions. *Asian Journal of Plant Sciences*.
- [24] Lilley, J. M., & Fukai, S. (1994). Effect of timing and severity of water deficit on four diverse rice cultivars II. Physiological responses to soil water deficit. *Field Crops Research*, 37(3), 215-223.
- [25] Turner, M. G., Gardner, R. H., O'Neill, R. V., & O'Neill, R. V. (2001). *Landscape ecology in theory and practice* (Vol. 401). Springer New York.
- [26] Benjamin, JG et Nielsen, DC, 2006. Effets du déficit hydrique sur la distribution des racines du soja, des pois de grande culture et du pois chiche. *Recherche sur les grandes cultures*, 97 (2-3), pp.248-253.
- [27] Saab, I. N., & Sharp, R. E. (1989). Non-hydraulic signals from maize roots in drying soil: inhibition of leaf elongation but not stomatal conductance. *Planta*, 179(4), 466-474.
- [28] Bewley, J. D., & Black, M. (1994). Seed development and maturation. In *Seeds* (pp. 35-115). Springer, Boston, MA.
- [29] Tazi, M.R., Berrichi, A. and Haloui, B., 2003. Effet du polyéthylène glycol sur la germination et la croissance in vitro de l'arganier (*Argania spinosa* L. Skeels) des Beni-Snassen (Maroc oriental). *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 14(1), pp.23-27.
- [30] Aspinall, D. (1986). Metabolic effects of water and salinity stress in relation to expansion of the leaf surface. *Functional Plant Biology*, 13(1), 59-73.
- [31] Mwanamwenge, J., Loss, S. P., Siddique, K. H. M., & Cocks, P. S. (1999). Effect of water stress during floral initiation, flowering and podding on the growth and yield of faba bean (*Vicia faba* L.). *European Journal of Agronomy*, 11(1), 1-11.
- [32] Lazali, M. (2006). Etude du comportement de seize variétés de la luzerne pérenne (*Medicago sativa* L.) sous deux régimes hydriques en Mitidja. *Mémoire d'ingénieur d'Etat en agronomie, INA, El Harrach, Alger*.
- [33] Slim, N., Sifi, B., & Triki, S. (2008). Criblage de variétés de pois chiche (*Cicer arietinum* L.) pour la résistance au stress hydrique. *Revue des régions arides*, (21), 734-744.
- [34] Anjum, SA, Xie, XY, Wang, LC, Saleem, MF, Man, C. et Lei, W., 2011. Les réponses morphologiques, physiologiques et biochimiques des plantes à la sécheresse. *African Journal of Agricultural Research*, 6 (9), 2026-2032.

- [35] **Spichiger R.E., Savolainen V., Figiat M. et Jean-Monod D. B.(2004)** Botanique systématique des plantes à fleurs: une approche phylogénétique nouvelle des angiospermes des régions tempérées et tropicales, 3ème édition, Presse polytechnique et universitaire romande, Losane, 413 pp.
- [36] **Benhamiche, S. (2017)**. Contribution à l'étude des stratégies adaptatives et comportementales d'une plante invasive (*Gleditsia triacanthos* L.) : écophysiologie et valorisation. Doctorat en sciences. Université Djillali Liabes de Sidi Bel Abbès, Algérie, 106 p.
- [37] **Ferreras, A. E., & Galetto, L. (2010)**. From seed production to seedling establishment: important steps in an invasive process. *Acta Oecologica*, 36(2), 211-218.
- [38] **Richardson, D. M., Pyšek, P., Rejmánek, M., Barbour, M. G., Panetta, F. D., & West, C. J. (2000)**. Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions. *Diversity and distributions*, 6(2), 93-107.
- [39] **Bensaid S. 1995**. Bilan critique du barrage vert en Algérie. Science et changements planétaires / Sécheresse. 1995;6(3):247-255.
- [40] **Alard, D., Poudevigne, I., Dutoit, T., & Decaëns, T. (1998)**. Dynamique de la biodiversité dans un espace en mutation. Le cas des pelouses calcicoles de la basse vallée de Seine. *Acta Oecologica*, 19(3), 275-284.
- [41] **Shadow R.A. (2003)**. USDA/NRCS East Texas Plant Materials Center, Nacogdoches, TX.
- [42] **Sullivan J. (1994)**. *Gleditsia triacanthos* : Fire Effects Information System U.S., Department of Agriculture/ Forest Service, Rocky Mountain Research Station..
- [43] **Lodge, D. M. (1993)**. Biological invasions: lessons for ecology. *Trends in ecology & evolution*, 8(4), 133-137.