

Le chêne faginé (*Quercus faginea*, Fagaceae) en Algérie : potentiel germinatif et variabilité morphologique des glands et des semis

Abdeldjalil Aissi^{1,*}, Yassine Beghami¹ & Myriam Heuertz²

¹Département des Sciences Agronomiques, ISVSA, LAPAPEZA, Université Batna 1 Hadj Lakhdar-Batna, Algérie

²Biogeco, INRA, Université de Bordeaux, FR-33610 Cestas, France

*Auteur correspondant : aissi.abdedjalil@gmail.com

The Portuguese Oak in Algeria (*Quercus faginea*, Fagaceae): germination potential and variability of acorn and seedling morphology

Background and aims – The Portuguese Oak, *Quercus faginea* Lam. (Fagaceae) forms part of iconic Mediterranean forest communities and is of great ecological and taxonomic value in Algeria. Unfortunately, the species is under threat and its populations remain poorly characterized. The aim of this paper is to study the variability of acorn morphology and germination potential of *Q. faginea* in Algeria, to examine variability in the growth of seedlings and to evaluate the influence of physical treatments on germination capacity and the subsequent development of seedlings at the intra- and inter-provenance levels.

Methods – Mature acorns from four *Q. faginea* provenances of the species in Algeria were used for this work. In each provenance, ten trees were selected, and 100 acorns collected from each tree. Prior to germination, phenotypic seed traits were measured and a set of physical treatments was performed. The germinated seedlings were transplanted into polyethylene bags and several characteristics of plant growth were measured.

Key results – The comparative analysis on acorn morphology and germination features revealed heavier acorns in the Baloul provenance and smaller and lighter leaves in the Chelia provenance, in comparison with other provenances. Germination features and seedling growth showed that the size of the acorns had no influence on seedling development.

Conclusions – Our results show a morphological variability of leaves and acorns of the Portuguese Oak at the inter-provenance level. This diversity is probably a consequence of genetic variation and / or variable environmental conditions of the provenances. The study of the germination and seedling development reveals a considerable potential for germination and growth. Given all the factors that threaten the persistence of Portuguese Oak in Algeria, we recommend conservation action for the species through reforestation, *ex situ* plantations and protective fences to avoid genuine and irreversible population regression, which would most likely lead to its disappearance.

Keywords – Algeria; *Quercus faginea* Lam.; germination potential; morphological variability; physical treatments.

Contexte et buts visés – Le chêne faginé, *Quercus faginea* Lam. (Fagaceae), représente un intérêt patrimonial, écologique et taxonomique remarquable en Algérie, mais malheureusement l'espèce est

menacée et peu étudiée. L'objectif de ce travail est d'étudier la variabilité morphologique et le potentiel germinatif des glands de *Q. faginea* en Algérie, d'examiner la variabilité de la croissance des semis et d'évaluer l'influence des traitements physiques sur le potentiel germinatif et le développement ultérieur des semis, tant au niveau intra- qu'inter-stationnel.

Méthodes – Des glands mûrs de chêne faginé récoltés sur quatre stations de l'espèce en Algérie ont été utilisés. Sur chaque station, dix arbres ont été sélectionnés, représentés par 100 glands chacun. Une analyse de traits phénotypiques a été réalisée sur les glands ; ensuite un ensemble de traitements physiques ont été effectués afin de tester leur effet sur la germination. Les semis issus de la germination ont été transplantés dans des sachets en polyéthylène et plusieurs caractères de croissance ont été mesurés.

Résultats-clés – L'étude comparative morphologique et germinative révèle des glands plus longs et plus lourds à la station de Baloul, et des feuilles plus petites et plus légères à la station de Chélia, en comparaison avec les autres stations. Un effet significatif des traitements sur la germination a été montré dans toutes les stations. La taille des glands n'a aucune influence sur le développement des jeunes semis.

Conclusions – Nos résultats montrent une variabilité morphologique inter-stationnelle des feuilles et des glands du chêne faginé. Cette diversité est probablement la conséquence de variations génétiques et/ou des conditions environnementales des stations. L'étude de la germination et de l'évolution de plants révèle un potentiel germinatif et de croissance considérables. Compte tenu de l'ensemble des facteurs qui menacent la pérennité du chêne faginé en Algérie, nous recommandons des actions pour la conservation de l'espèce telles que des reboisements, des plantations *ex situ* et des clôtures de protection pour éviter une régression réelle et irréversible des peuplements qui conduirait très probablement à sa disparition.

INTRODUCTION

Le chêne faginé (*Quercus faginea* Lam.) est une espèce caducifoliée dont l'aire de répartition est limitée à la partie occidentale du bassin méditerranéen ; l'espèce est présente en Espagne, au Portugal, au Maroc et en Algérie (Amaral Franco 1990). Toutefois, sa présence a été signalée également dans le Sud de la France (Ceballos & Ruiz de la Torre 1971 ; GBIF.org 2019) ainsi que par un point de collecte situé en Ile-de-France (<http://coldb.mnhn.fr/catalognumber/mnhn/p/06857796>, GBIF.org 2019) (fig. 1).

Cette espèce est extrêmement polymorphe, ce qui a rendu sa taxonomie très difficile et instable au cours du temps (Trabut 1892 ; Maire 1961). Dans *Flora Europaea*, Schwarz (1964) adoptait la dénomination de *Quercus faginea* Lam. pour l'ensemble des formes de l'espèce. Cependant, les formes arbustives de cette dernière sont rattachées au *Q. valentina* Cav. dont la morphologie dépend probablement de la nature du sol et de la pression anthropique (López González 2001). Amaral Franco (1990) reconnaissait deux sous-espèces sur la base des caractères liés au type de tomentum et à la taille des feuilles : *Q. faginea* subsp. *faginea* qui se trouve particulièrement dans la péninsule ibérique et *Q. faginea* subsp. *broteroi* (Cout.) A.Camus qui se trouve dans la partie Sud-Ouest de la péninsule ibérique et en Afrique du Nord. Récemment, Dobignard & Chatelain (2012) notaient que *Q. faginea* se trouve en Afrique du Nord, principalement en Algérie et au Maroc où il est représenté par *Q. faginea* subsp. *broteroi* (Cout.) A.Camus. Cette publication est la principale référence taxonomique utilisée dans la présente étude.

Selon Villar-Salvador et al. (2013) *Q. faginea* se rencontre dans la péninsule ibérique à des altitudes variant de

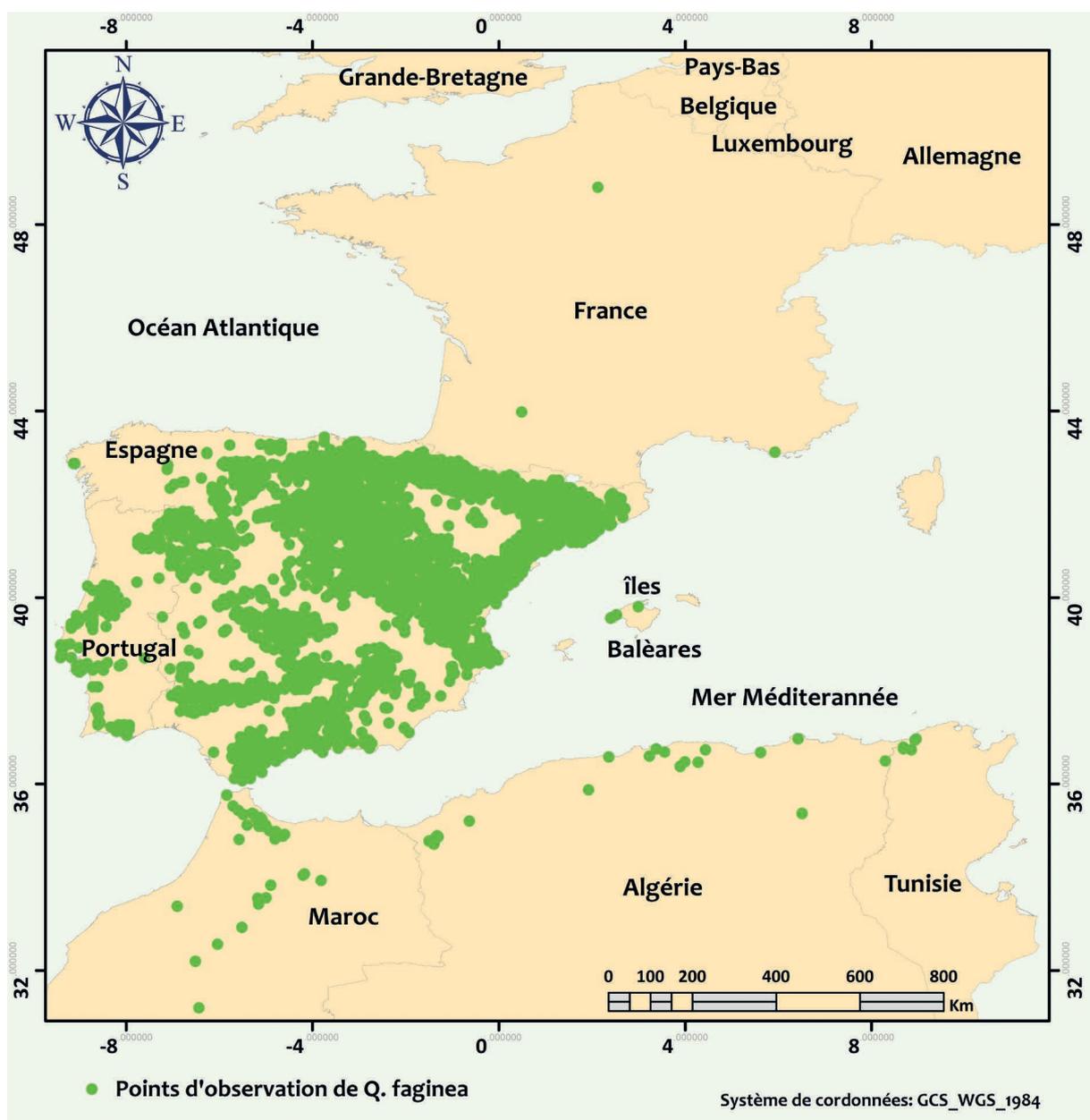
200 m à 1900 m ; cependant, la majeure partie des peuplements se répartit dans une tranche altitudinale comprise entre 600 et 1200 m. L'espèce se développe dans des zones dont les précipitations moyennes annuelles se situent généralement entre 500 et 900 mm. L'espèce couvre approximativement 280 000 ha dans la péninsule ibérique et plus particulièrement en Espagne (Alfonso 1985). Son bois précieux a été largement utilisé dans l'industrie, ce qui a engendré une diminution de son aire de distribution, conduisant à sa protection légale au Portugal (Carvalho 1997 ; Capelo & Catry 2007).

Sur la rive sud de la Méditerranée, *Q. faginea* se rencontre au Maroc essentiellement dans le Rif et en peuplements résiduels dans le Haut Atlas jusqu'aux frontières algériennes (Tassin 2012). En Algérie, selon Dobignard & Chatelain (2012), *Q. faginea* est connu de quatre provenances localisées respectivement dans les montagnes de Chélia (Aurès) au nord-est du pays, ainsi qu'à Safalou (Tiaret), Baloul (Saïda) et Terni (Tlemcen) au nord-ouest ; ces provenances se présentent sous forme des peuplements dispersés de quelques dizaines d'hectares (Maire 1961 ; Dobignard & Chatelain 2012 ; Aissi, observations personnelles). D'autres observations identifiées comme *Q. faginea* essentiellement le long du littoral algérien (Maire 1961) correspondent à *Q. faginea* subsp. *baetica* (Webb) Maire ou à des variétés qui ont par la suite été regroupées dans l'espèce *Q. canariensis* Willd. par Dobignard & Chatelain (2012) (Aissi et al., résultats non publiés). À cause de cette évolution de la définition taxonomique de *Q. faginea* et d'éventuelles mauvaises identifications, il est possible que la carte de distribution de l'espèce illustrée dans la figure 1 (générée sur la base des données extraites de GBIF 2019) comporte des erreurs potentielles,

Tableau 1 – Caractéristiques écologiques des stations d'étude.

La localisation géographique (longitude et latitude) est indiquée en degrés décimaux.

Station	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Pluviométrie (mm)	Bioclimat	Substrat
Chélia	N 35,3592	E 06,6219	1200–1700	362–533	semi-aride	marno-calcaire
Safalou	N 35,3827	E 01,1833	950–1100	620	sub-humide frais	grès
Baloul	N 35,0261	E 00,4342	850	430	semi-aride	grès
Terni	N 34,7774	E 01,3435	1300–1350	688	sub-humide frais	calcaire

**Figure 1** – Points d'observation de *Quercus faginea*. Carte réalisée en utilisant les données d'occurrence de GBIF (GBIF.org (5 February 2019) GBIF Occurrence Download, <https://doi.org/10.15468/dl.8lx3d7>) et Quantum GIS version 2.8.11 (Quantum GIS Development Team 2016).

notamment en Algérie. Cette espèce se développe en Algérie entre 850 et 1700 m d'altitude dans l'étage supra-méditerranéen et montagnard-méditerranéen et sous un bioclimat semi-aride ou sub-humide (Aissi et al., résultats non publiés). Les précipitations moyennes annuelles varient de 362 à 688 mm/an selon les stations (Seltzer 1946 ; Schoenenberger 1972 ; Gaouar 1980) (tableau 1 & fig. 2).

Le chêne faginé représente un intérêt patrimonial, écologique et taxonomique incontestable en Algérie, mais malheureusement l'espèce est très menacée par une action anthropique accrue due au pâturage intense et à l'ébranchage qui ont pour conséquences l'affaiblissement des arbres et une faible régénération naturelle (Abdessemed 1985). À cela s'ajoute le fait qu'une grande partie de ces populations est constituée par de vieux et gros arbres essentiellement. En effet plus particulièrement à Chélia, son caractère caduc rend cette espèce très appréciable et utile pour l'homme afin d'assurer les besoins de son bétail (Aissi, observations personnelles). De plus, une grande quantité des glands de cette espèce dans la région sont consommés par la faune sauvage notamment le sanglier. Cette action conjuguée affecte négativement et d'une manière directe et intensive son processus

de régénération naturelle, ce qui menace gravement sa pérennité (Aissi, observations personnelles).

Face à cette situation inquiétante, la préservation de cette espèce exige indéniablement le recours à la régénération assistée qui requiert de sa part une évaluation et une compréhension approfondies du potentiel germinatif et de croissance des glands et des contraintes liées à sa réussite en reboisement. En effet, la réussite des plantations dépend intimement de la morphologie des plants produits (Trubat et al. 2010). La qualité et la quantité de ces plants sont déterminées par le potentiel germinatif et productif des glands, qui quant à eux sont influencés chez le genre *Quercus* par la diversité génétique des provenances (Farmer 1980 ; Lamhamedi et al. 2000), les différences climatiques entre les provenances (Baquedano et al. 2008 ; Bonito et al. 2011) et les variations de taille des glands à l'intérieur et entre les provenances d'espèces (Bonner 1987). De même, certains traitements des glands, tels que l'enlèvement des péricarpes, sont connus pour améliorer la germination chez plusieurs espèces (Schopmeyer 1974 ; Lamond 1978 ; Hopper 1982 ; Adams & Farrish 1992 ; Koumiche & Benmahiou 2016), un phénomène qui s'explique par une levée de la dormance maintenue par le péricarpe (Jones & Brown 1966 ; Bonner 1968 ;

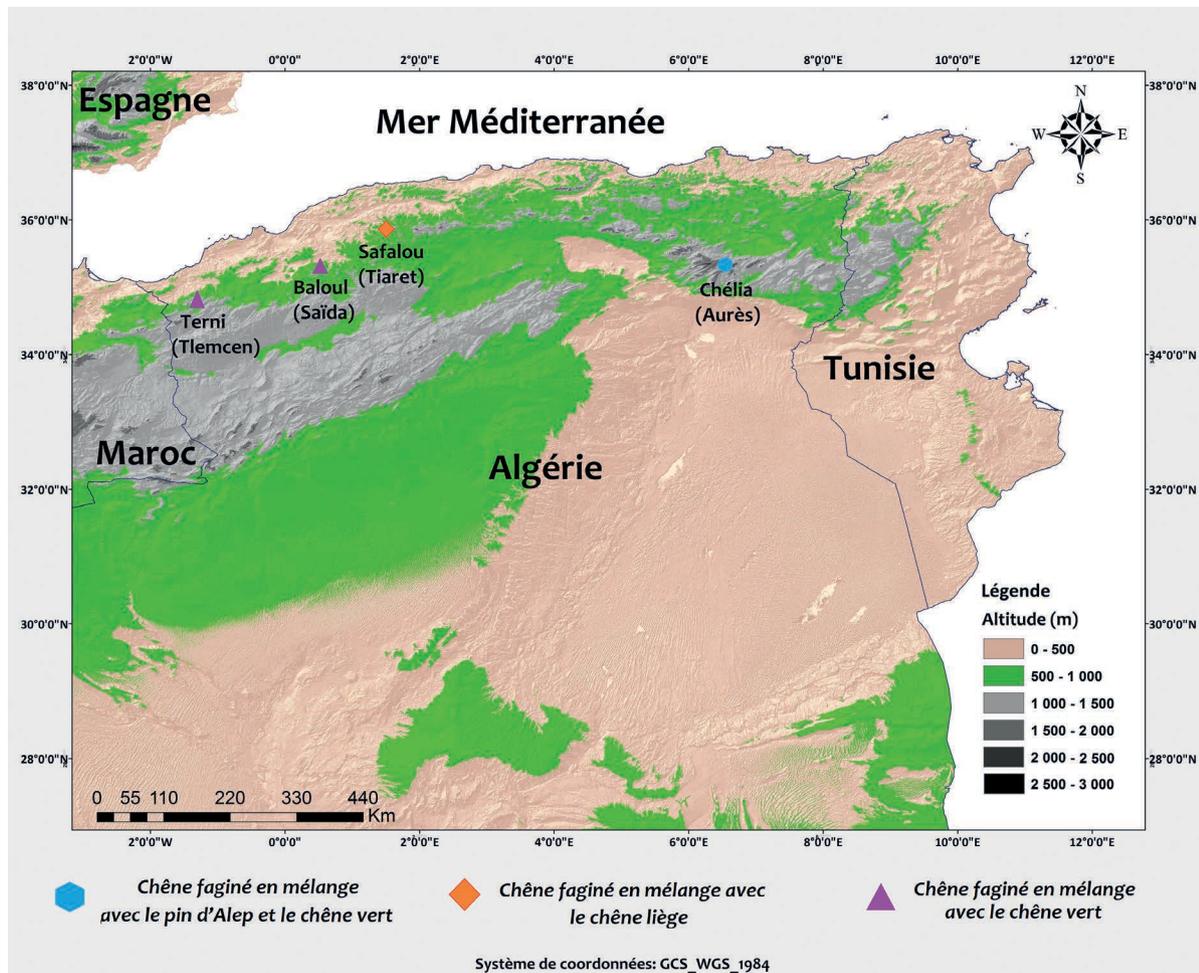


Figure 2 – Localisation des stations d'études de *Quercus faginea* en Algérie (carte générée avec Quantum GIS version 2.8.11 (Quantum GIS Development Team 2016)).

Hopper et al. 1985). Cette méthode s'avère être utile et pratique pour avoir un taux maximal de germination, plus particulièrement dans le cas où le nombre des glands est limité (Adams & Farrish 1992).

De nombreuses études ont été réalisées sur la variabilité morphologique des glands et des semis de certaines espèces du genre *Quercus* (Dupouey & Le Boulter 1989 ; Mercier & Rainville 1996 ; Tilki & Alpetkin 2005 ; Pérez-Ramos et al. 2010 ; Bonito et al. 2011 ; Caliskan 2014 ; Zine El Abidine et al. 2016 ; Sarir & Benmahiou 2017). Quant au chêne faginé en Algérie, et malgré son importance écologique et les menaces qui guettent sa pérennité, sa régénération et sa capacité de produire des plants demeurent très peu connues. De ce fait, l'objectif de ce travail est de contribuer à l'étude de la variabilité morphologique des glands et des semis et d'évaluer le potentiel germinatif à l'échelle de l'Algérie. Également, cette étude vise à examiner l'influence des prétraitements physiques sur le potentiel germinatif et le développement ultérieur des semis.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Ecologie des stations d'étude

Quercus faginea est connu sous le nom Berbère de *Tacheta* en Algérie. Il se rencontre à l'est du pays dans les montagnes de Chélia ainsi qu'à l'ouest (Safalou, Baloul, et Terni), souvent à l'état d'individus dispersés en mélange avec d'autres espèces ; il ne forme pas de véritables peuplements (tableau 1 & fig. 2). Au Chélia, il se développe sur des substrats marneux et marneux-calcaires entre 1200 et 1700 mètres d'altitude et se contente d'une pluviométrie moyenne annuelle qui varie entre 362 et 533 mm. L'espèce se rencontre essentiellement dans les ravins, généralement associée avec le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.), le chêne vert (*Quercus ilex* L.) ou encore, plus rarement, avec le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* (Endl.) Carrière) (fig. 2). Dans cette région, le chêne faginé se retrouve par pieds isolés principalement dans des terrains privés utilisés principalement pour l'agriculture. La hauteur des arbres dépasse souvent les quinze mètres. En revanche la proportion la plus importante de jeunes sujets se trouve principalement dans les forêts mixtes de pin d'Alep et de chêne vert.

A l'ouest du pays, le chêne faginé se rencontre à Safalou entre 950 et 1100 mètres d'altitude sur des substrats gréseux, généralement sous forme de pieds isolés en mélange avec le chêne liège (*Quercus suber* L.) (fig. 2). La hauteur moyenne des arbres est de huit mètres et le nombre total d'individus n'excède pas 300 dans cette station. Les précipitations moyennes annuelles dans la région sont de l'ordre de 620 mm/an (Seltzer 1946). Dans la station de Baloul, le chêne faginé pousse en pieds isolés à 850 m d'altitude, uniquement le long des ravins sur des substrats gréseux, accompagné parfois du chêne vert (fig. 2). Il se contente d'une pluviométrie moyenne annuelle de l'ordre de 430 mm/an (Seltzer 1946 ; Gaouar 1980). Les arbres rencontrés dans la région ont des tailles très importantes dépassant souvent les quinze mètres. Pareillement, à Terni, il pousse uniquement le long des ravins et est accompagné de chêne vert (fig. 2) ; il se développe sur des substrats calcaires sur une tranche altitudinale comprise

entre 1350 et 1500 m, avec une précipitation annuelle de 688 mm/an (Trabut 1892 ; Seltzer 1946). La hauteur moyenne des arbres est de quatre à cinq mètres.

Echantillonnage des glands

Les essais de germination menés durant ce travail à l'Université Batna1 ont été effectués avec des glands mûrs de chêne faginé (*Quercus faginea* Lam.) récoltés durant le mois d'octobre 2017 sur quatre stations de l'espèce en Algérie (Chélia, Safalou, Baloul et Terni) (fig. 2). Dix arbres par station ont fait l'objet de récolte de glands, chacun d'entre eux représenté par 100 glands. Les arbres ont été choisis au hasard en respectant un espacement d'au moins 300 m, afin d'échantillonner une variabilité génétique maximale.

Au laboratoire, les glands ont été séparés dans un premier temps par arbre et par station d'origine, puis nettoyés et triés par test de flottation à l'eau ordinaire, les glands non viables (flottants) ont été éliminés (Dupouey & Le Boulter 1989).

Biométrie des glands

Avant de procéder à la mise en germination des glands, leur variabilité morphologique à l'intérieur et entre les stations d'étude a été examinée. Le poids (P), la longueur (Lg), la largeur (lg), et le rapport longueur/largeur (Lg/lg) ont été mesurés pour les glands viables de chaque arbre (50 glands/arbre) à l'aide d'une balance de précision et d'un pied à coulisse numérique (Tilki & Alpetkin 2005). Les valeurs moyennes des traits phénotypiques ont été examinées par analyse de variance au niveau intra et inter-stationnel ; un test de Tukey au seuil de 5% a été appliqué pour identifier les différences significatives entre moyennes des arbres mères et des stations, respectivement.

Variabilité du potentiel germinatif des glands et influence de prétraitements physiques sur la germination

Afin d'étudier la variabilité du potentiel germinatif à l'intérieur et entre les stations et pour examiner l'influence de prétraitements physiques sur le potentiel germinatif des glands, les glands précédemment mesurés ont été divisés en cinq lots de 10 glands par arbre afin de les soumettre à cinq prétraitements expérimentaux dont un témoin (Lamond 1978) (au total l'expérience comportait 5 lots \times 10 glands/arbre \times 10 arbres/station \times 4 stations) : Témoin sans prétraitement (T) ; immersion des glands dans l'eau ordinaire pendant 48h (I48) ; immersion des glands dans l'eau ordinaire pendant 48h suivi d'un enlèvement des péricarpes (I48AE) ; l'enlèvement des péricarpes des glands (AE) ; enlèvement des péricarpes suivi d'immersion des glands dans l'eau ordinaire pendant 48h (AEI48). Ces prétraitements visent à favoriser l'hydratation des glands suite aux travaux de Levert (1977), qui souligne une forte corrélation entre la teneur en eau des glands et leur vitesse de germination.

Les glands de tous les prétraitements ont été mis à germer simultanément durant l'automne en conditions lumineuses naturelles et à $20 \pm 3^\circ\text{C}$ dans des plaques de germination contenant de la terre végétale humide (arrosage effectué tous les deux jours). La germination a été suivie pendant 30 jours, avec un comptage bi-journalier des glands germés. On

considérerait comme germés les glands qui manifestaient un géotropisme positif avec une radicule allongée d'au moins 2 mm (Côme & Corbineau 1998). Les résultats obtenus nous ont permis de calculer le taux de germination (G %) ; le temps de latence (TL) qui correspond au délai (nombre de jours) entre le jour de semis et le moment où les premiers glands commencent à germer ; et la vitesse de germination (T50) qui correspond au nombre de jours nécessaire pour que la germination atteigne 50% (Côme 1970 ; Côme & Corbineau 1998). L'effet des prétraitements sur la germination a été examiné par analyse de la variance à l'intérieur et entre les stations et les différences entre les moyennes ont été évaluées par un test de Tukey au seuil de 5%.

Croissance et phénotype des semis

Dans le but d'examiner la variabilité de la croissance des semis et d'évaluer l'influence des prétraitements physiques sur le développement ultérieur des semis aux niveaux intra- et inter-stationnels, les glands germés ont été repiqués dans des sachets en polyéthylène remplis d'un mélange contenant 2/3 de terre végétale, et 1/3 de sable. Les sachets ont été placés à l'air libre et ont été arrosés trois fois par semaine. La croissance des semis a été suivie pendant six mois en mesurant la hauteur des épicotyles (HE) et en comptant le nombre moyen de feuilles par semis (NFS) tous les deux jours. Après six mois, les traits phénotypiques suivants ont été relevés à l'aide d'une règle graduée et d'une balance de précision : la longueur des racines (LR), la surface foliaire moyenne par feuille (SF), le poids frais et après séchage (le séchage a été effectué dans une étuve à 65°C pendant 48 h) de la partie aérienne et racinaire [PFR : poids moyen frais des racines, PFF : poids moyen frais du feuillage (feuille et tige), PSR : poids moyen sec des racines, PSF : poids moyen sec du feuillage], le poids approximatif moyen sec par feuille qui correspond au poids moyen sec du feuillage / nombre moyen de feuilles par semis (PFS), le poids approximatif moyen frais par feuille qui correspond au poids moyen frais du feuillage / nombre moyen de feuilles par semis (PF) (Thompson 1985 ; Zine El Abidine et al. 2016). Aussi, les rapports suivants ont été calculés : le poids moyen frais des racines/poids moyen frais du feuillage (PFR/PFF), le poids moyen sec des racines/poids moyen sec du feuillage (PSR/PSF), la surface foliaire spécifique (SFS) qui correspond au rapport entre la surface foliaire moyenne par feuille (SF) et le poids approximatif moyen sec des feuilles (PFS), et le taux de mortalité (TM). Le test de Tukey au seuil de 5% a été utilisé pour identifier les différences significatives entre les moyennes des caractères de croissance des semis évalués à l'intérieur et entre les stations.

Analyses statistiques

Le traitement statistique des données a été effectué avec le logiciel XLSTAT Version 2016 (Addinsoft 2016). Les différentes analyses de la variance (ANOVA) ont été utilisées pour étudier la variabilité morphologique et germinative des glands du chêne faginé, pour examiner la variabilité de la croissance des semis et pour évaluer l'influence des prétraitements physiques sur le potentiel germinatif et le développement ultérieur des semis. Des tests de corrélation de Pearson ont été réalisés entre les caractères phénotypiques et germinatifs des glands et entre les caractères phénotypiques des glands et ceux de croissance des semis. Les seuils de significativité de ces tests multiples ont été corrigés par la méthode de Bonferroni (Bollen 1989).

Analyses statistiques

RÉSULTATS

Biométrie des glands

Biométrie des glands

Au niveau intra-stationnel, les traits phénotypiques des glands montrent des différences significatives ($P < 0.05$) entre arbres à la station de Chélia pour la largeur des glands (lg), et pour le rapport largeur / longueur (lg/Lg). L'arbre 9 a des glands significativement plus larges et un rapport lg/Lg plus grand que les autres arbres (tableau 2). À la station de Baloul, le poids, la largeur et la longueur des glands diffèrent significativement entre arbres, le poids moyen des glands variant d'un facteur de plus de deux entre arbres (de 2,66 à 6,51 g, tableau 2). Aucune différence significative entre arbres n'a été enregistrée en sein des stations de Safalou et Terni (tableau 2).

Tous les traits des glands montrent des différences significatives ($P < 0.05$) entre stations. Les glands de la station de Baloul ont un poids (P) et une longueur (Lg) supérieurs, et un rapport largeur/longueur (lg/Lg) inférieurs à ceux des autres stations (fig. 3).

Variabilité intra et inter-stationnelle du potentiel germinatif des glands et influence des prétraitements

Les paramètres de germination des glands ne montrent aucune différence significative ($P > 0.05$) entre les différents arbres de chaque station pour chacun des prétraitements

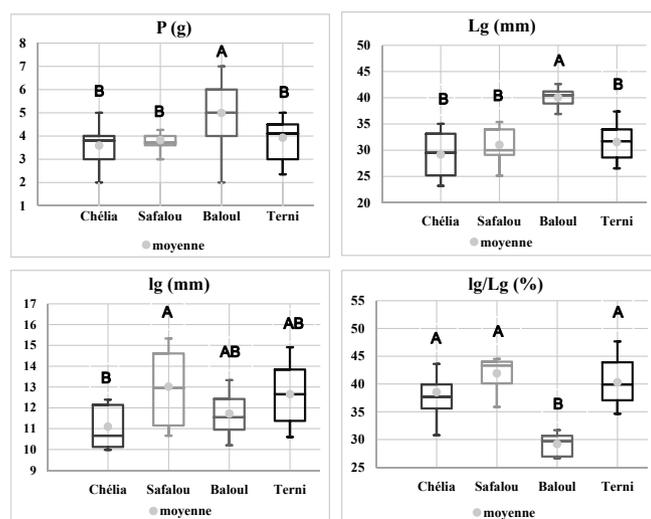


Figure 3 – Diagrammes en boîtes des traits phénotypiques des glands de chêne faginé (*Quercus faginea*) dans les quatre stations étudiées en Algérie (P : poids des glands en g ; Lg : longueur des glands en mm ; lg : largeur des glands en mm ; lg/Lg : rapport entre la largeur et la longueur des glands en %). Les moyennes des stations signalées avec des lettres différentes sont significativement différentes, test de Tukey au seuil de 5%.

Tableau 2 – Traits phénotypiques des glands de chêne faginé (*Quercus faginea*) au niveau inter-stationnel (50 glands/arbre).

Moyenne \pm écart type ; P : poids des glands en g ; Lg : longueur des glands en mm ; lg : largeur des glands en mm ; lg/Lg : rapport entre la largeur et la longueur des glands en %. P : P-valeur de l'ANOVA. Les valeurs marquées avec la même lettre ne sont pas significativement différentes, test de Tukey au seuil de 5%.

Station	Paramètre	P	arbre 1	arbre 2	arbre 3	arbre 4	arbre 5	arbre 6	arbre 7	arbre 8	arbre 9	arbre 10
Chélia	P (g)	0,19	3,33 $\pm 1,24$	4,00 $\pm 0,40$	5,01 $\pm 1,82$	4,33 $\pm 1,12$	4,06 $\pm 1,62$	4,21 $\pm 0,79$	3,66 $\pm 1,25$	4,66 $\pm 1,47$	3,22 $\pm 0,88$	3,96 $\pm 0,56$
	Lg (mm)	0,23	29,72 $\pm 4,25$	32,90 $\pm 5,52$	32,09 $\pm 3,95$	31,01 $\pm 2,85$	30,24 $\pm 5,55$	29,86 $\pm 6,20$	30,48 $\pm 3,17$	29,12 $\pm 4,13$	31,85 $\pm 3,22$	29,46 $\pm 3,05$
	lg (mm)	0,001	11,55 $\pm 0,96^b$	11,68 $\pm 0,88^b$	12,82 $\pm 0,30^b$	12,01 $\pm 0,71^b$	11,79 $\pm 0,37^b$	11,99 $\pm 0,45^b$	12,19 $\pm 0,22^b$	11,31 $\pm 1,76^b$	17,05 $\pm 0,86^a$	10,12 $\pm 0,89^b$
	lg/Lg %	0,003	39,57 $\pm 7,08^b$	35,66 $\pm 4,38^b$	39,05 $\pm 2,34^b$	37,55 $\pm 2,88^b$	36,58 $\pm 1,05^b$	38,85 $\pm 1,11^b$	39,92 $\pm 4,89^b$	39,06 $\pm 7,72^b$	55,54 $\pm 5,02^a$	34,89 $\pm 1,86^b$
Safalou	P (g)	0,25	4,26 $\pm 1,41$	3,74 $\pm 0,71$	3,50 $\pm 1,81$	3,68 $\pm 0,62$	3,77 $\pm 1,44$	4,12 $\pm 0,55$	4,01 $\pm 1,11$	3,35 $\pm 0,82$	3,89 $\pm 1,36$	4,30 $\pm 0,75$
	Lg (mm)	0,38	33,94 $\pm 2,61$	31,84 $\pm 2,99$	31,41 $\pm 1,99$	32,51 $\pm 2,45$	31,96 $\pm 3,08$	31,72 $\pm 1,97$	32,82 $\pm 2,56$	31,99 $\pm 2,49$	32,38 $\pm 1,94$	33,69 $\pm 1,74$
	lg (mm)	0,31	13,58 $\pm 1,05$	13,28 $\pm 0,88$	13,16 $\pm 1,71$	13,33 $\pm 1,29$	13,84 $\pm 1,08$	12,91 $\pm 1,69$	13,66 $\pm 0,70$	13,37 $\pm 1,62$	13,95 $\pm 2,33$	13,38 $\pm 0,82$
	lg/Lg %	0,48	41,71 $\pm 2,28$	41,93 $\pm 1,42$	42,99 $\pm 2,87$	42,36 $\pm 1,97$	42,10 $\pm 3,98$	42,90 $\pm 1,09$	43,67 $\pm 1,24$	43,68 $\pm 3,04$	42,37 $\pm 2,83$	42,97 $\pm 2,07$
Baloul	P (g)	0,02	6,51 $\pm 1,77^a$	5,55 $\pm 1,17^{ab}$	5,27 $\pm 1,41^{ab}$	4,25 $\pm 0,95^{ab}$	4,75 $\pm 1,25^{ab}$	5,12 $\pm 1,36^{ab}$	4,61 $\pm 0,99^{ab}$	6,05 $\pm 0,71^a$	3,50 $\pm 2,79^{ab}$	2,66 $\pm 2,58^b$
	Lg (mm)	0,01	41,80 $\pm 3,14^{ab}$	40,48 $\pm 2,35^{ab}$	39,40 $\pm 2,53^{ab}$	37,51 $\pm 4,11^{ab}$	39,42 $\pm 1,57^{ab}$	37,31 $\pm 1,41^{ab}$	42,27 $\pm 3,98^a$	43,03 $\pm 2,32^a$	38,66 $\pm 2,97^{ab}$	30,43 $\pm 4,82^b$
	lg (mm)	0,01	12,68 $\pm 1,56^a$	12,43 $\pm 2,26^{ab}$	11,31 $\pm 2,57^{ab}$	11,00 $\pm 1,14^{ab}$	10,29 $\pm 1,04^{ab}$	10,87 $\pm 1,72^{ab}$	11,72 $\pm 1,54^{ab}$	12,69 $\pm 1,46^a$	11,62 $\pm 1,44^{ab}$	9,26 $\pm 1,37^b$
	lg/Lg %	0,34	30,34 $\pm 1,51$	30,68 $\pm 1,42$	28,64 $\pm 2,87$	29,45 $\pm 2,82$	26,12 $\pm 1,50$	29,16 $\pm 2,27$	27,79 $\pm 1,35$	29,48 $\pm 0,17$	29,98 $\pm 1,40$	30,96 $\pm 5,24$
Terni	P (g)	0,56	4,25 $\pm 1,41$	3,76 $\pm 1,41$	3,65 $\pm 1,07$	4,35 $\pm 1,49$	3,96 $\pm 2,49$	4,72 $\pm 1,97$	4,51 $\pm 2,14$	3,63 $\pm 1,56$	4,08 $\pm 1,76$	4,89 $\pm 1,45$
	Lg (mm)	0,21	35,94 $\pm 3,02$	32,84 $\pm 2,58$	31,91 $\pm 2,28$	34,08 $\pm 1,89$	34,11 $\pm 2,76$	33,28 $\pm 3,52$	35,77 $\pm 3,28$	32,98 $\pm 1,37$	32,89 $\pm 3,66$	34,62 $\pm 1,69$
	lg (mm)	0,69	15,59 $\pm 2,46$	16,26 $\pm 1,94$	16,16 $\pm 1,12$	14,29 $\pm 1,29$	15,39 $\pm 0,82$	15,77 $\pm 1,29$	13,84 $\pm 1,21$	15,29 $\pm 1,46$	14,94 $\pm 1,11$	15,61 $\pm 2,96$
	lg/Lg %	0,08	43,23 $\pm 5,43$	49,79 $\pm 8,32$	50,75 $\pm 5,54$	44,61 $\pm 5,98$	45,46 $\pm 4,68$	47,87 $\pm 2,86$	43,72 $\pm 6,79$	43,04 $\pm 4,43$	46,29 $\pm 5,85$	47,31 $\pm 4,67$

appliqués (appendice électronique 1). Cependant, une différence significative entre les prétraitements appliqués a été notée dans toutes les stations (tableau 3) : le taux de germination est plus élevé dans les lots qui ont subi des prétraitements (de 74% à 100% selon les stations) par rapport aux lots témoins (entre 64% à Safalou et 75% à Chélia) (tableau 3, fig. 4). L'enlèvement des péricarpes et l'immersion dans l'eau ordinaire accélèrent et synchronisent la germination (tableau 3, fig. 4). En effet, dans les lots I48AE et AEI48, la germination commence dès le deuxième jour de la mise en culture et atteint le taux maximal au bout de huit jours seulement, avec T50 de quatre à six jours. Pour les lots témoins, la germination commence à partir du dixième jour, atteignant le T50 après seize jours environ, et se termine après vingt à vingt-deux jours (tableau 3, fig. 4). Un effet station pour les prétraitements appliqués a été noté notamment pour le taux de germination (G%) (tableau 3). Les prétraitements altèrent les paramètres de germination de la même manière dans

toutes les stations, d'où on note une absence d'interaction des facteurs traitement et station (tableau 3).

Influence des prétraitements sur le développement des semis

Les paramètres de croissance des semis (HE, LR, NFS) ne montrent pas de différence significative ($P > 0,05$) entre arbres au sein de chaque station (appendice électronique 2). Aussi, aucune différence significative n'a été détectée pour les caractères de croissance entre les lots témoins (T) et les lots ayant subi des prétraitements (I48, I48AE, AE, AEI48) (fig. 5), ce qui indique que les prétraitements appliqués n'ont vraisemblablement aucune influence sur la croissance et le développement ultérieur des semis, du moins durant les six premiers mois de développement. Cependant, des différences significatives de mortalité des semis ($P < 0,05$) ont été observées entre les prétraitements (fig. 5). Tous les prétraitements

Tableau 3 – Effet des prétraitements sur la germination des glands de chêne faginé (*Quercus faginea*).

G% : taux de germination ; T50 : temps en jours pour atteindre 50% de germination ; TL : temps de latence entre traitement et première germination. Les tests ANOVA ont montré un effet significatif des traitements au sein de toutes les stations pour les trois paramètres examinés (P (effet traitement) $\leq 0,0001$). Des effets station ont été montrés pour certains traitements et certains paramètres (P (effet station)). Aucune interaction significative station \times traitement n'a été mise en évidence.

Paramètre	Traitement	Chélia	Safalou	Baloul	Terni	P (effet station)	P (station \times traitement)
G%	T	75	64	77	67	0,01	0,45
	I48	80	74	86	77	0,02	
	I48AE	100	100	98	100	0,09	
	AE	100	96	100	96	0,01	
	AEI48	100	100	100	100	1	
	P (effet traitement)		0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	
T50	T	15,8	16,2	16,1	16,7	0,30	0,36
	I48	7,7	7	9,8	9,6	0,0001	
	I48AE	3,7	3,6	3,8	4,1	0,58	
	AE	6,1	5,9	6,1	6	0,86	
	AEI48	4	3,9	3,9	3,9	0,96	
	P (effet traitement)		0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	
TL	T	10,7	10,6	10,4	10,6	0,94	0,76
	I48	4,3	4,3	5,8	6,1	0,0001	
	I48AE	2,1	1,9	2	2	0,36	
	AE	2,2	2,1	2,1	2,3	0,76	
	AEI48	2	2	1,8	1,9	0,86	
	P (effet traitement)		0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	

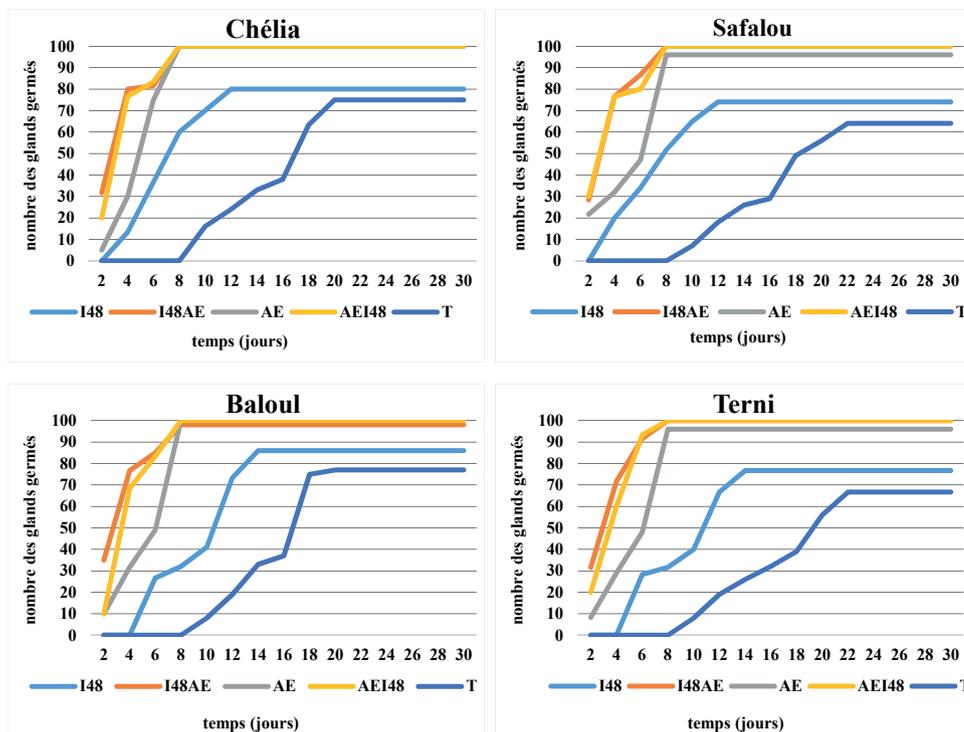


Figure 4 – Évolution en fonction du temps de la germination des glands de chêne faginé (*Quercus faginea*) dans les quatre stations étudiées en Algérie pour différents prétraitements (I48 : glands immergés dans l'eau ordinaire pendant 48 h ; I48AE : immersions des glands dans l'eau ordinaire pendant 48 h suivi par un enlèvement des enveloppes séminales ; AE : enlèvement des enveloppes séminales des glands ; AEI48 : enlèvement des enveloppes séminales puis immersion des glands dans l'eau ordinaire pendant 48 h ; T : Témoin).

ont conduit à une mortalité des semis supérieure à celle du témoin ; la mortalité pour les trois prétraitements avec enlèvement des péricarpes avoisine les 25% tandis que la seule immersion dans l'eau (I48) a conduit à une mortalité de 14% (fig. 5). Aussi, pour l'ensemble des prétraitements, la majorité des mortalités a été observée avant transplantation des semis (fig. 5).

Étude de la croissance et phénotype des semis

Les courbes de croissance de la partie aérienne des semis ne présentent aucune différence remarquable entre les stations d'étude (fig. 6). L'évolution en hauteur se caractérise par une croissance rapide pendant les sept ou les huit premières semaines de croissance (automne-hiver) – sept semaines dans le cas des stations de Chélia et Terni, et huit semaines pour

les stations de Safalou et Baloul. La deuxième phase correspond à une période de latence qui dure deux mois environ (durant l'hiver), suivie par une forte reprise de la croissance au début du printemps. Après deux mois, et durant la période estivale on observe un ralentissement de la croissance en hauteur (fig. 6).

L'analyse de la variance des traits phénotypiques des semis montre un effet station pour les paramètres SFS, PFR/PFF et PSR/PSF (respectivement $P = 0,04$, $P = 0,02$ et $P = 0,01$). Les feuilles de la station de Chélia ont une surface foliaire spécifique (SFS) et des rapports (PSF/PFF, PSR/PSF) inférieurs à ceux des autres stations (fig. 7).

Corrélation des paramètres des glands et des semis

La matrice de corrélation de Pearson montre l'absence d'une corrélation significative entre les traits phénotypiques et germinatifs des glands, ce qui indique que les traits phénotypiques des glands (P, Lg, lg et lg/Lg) n'ont vraisemblablement aucune influence sur le potentiel germinatif (% T50 et TL). Aussi, aucune corrélation significative n'a été notée entre les traits phénotypiques des glands et ceux des semis. Ces résultats montrent que la taille des glands n'a probablement aucune influence sur la croissance ultérieure des semis (HE, LR et NFS) (du moins durant les six premiers mois de développement des semis).

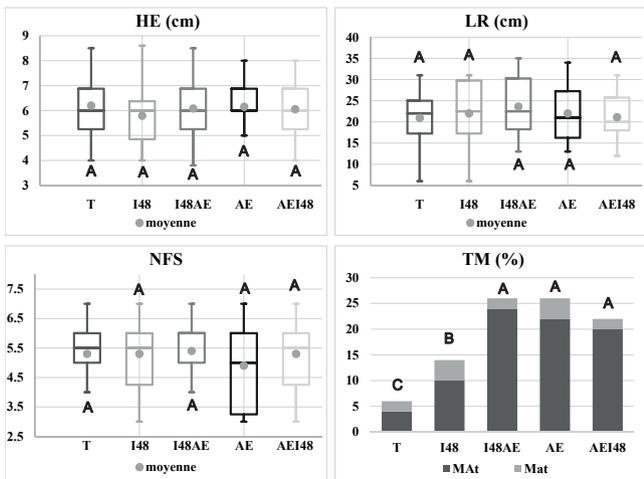


Figure 5 – Paramètres de croissance et de mortalité des semis de chêne faginé (*Quercus faginea*) des quatre stations étudiées en Algérie en fonction des prétraitements avant germination (HE : la hauteur des épicotyles en cm ; LR : longueur des racines en cm ; NFS : nombre de feuilles par semis ; TM : taux de mortalité en pourcentage ; MAt : taux de mortalité avant transplantation des semis ; Mat : taux de mortalité après transplantation des semis).

DISCUSSION

Notre étude nous a permis de mettre en évidence des différences entre les quatre provenances de chêne faginé en Algérie (définies en suivant Dobignard & Chatelain 2012) concernant certains traits morphologiques des glands et des traits morphologiques des jeunes semis. Nous avons en outre montré que l'immersion des glands dans l'eau et l'enlèvement des péricarpes améliorent et synchronisent la germination. Dans ce qui suit, ces résultats sont discutés par rapport à la littérature.

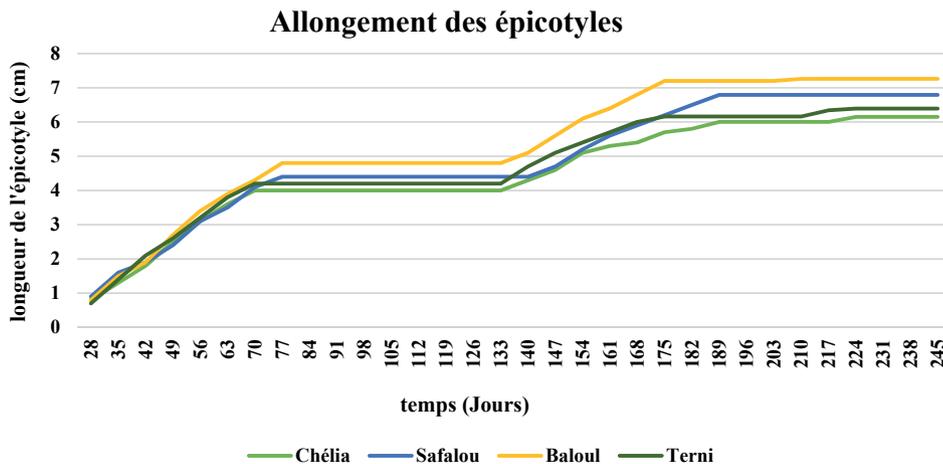


Figure 6 – Allongement en fonction du temps des épicotyles des semis de chêne faginé (*Quercus faginea*) des quatre stations étudiées en Algérie.

Biométrie des glands

Il ressort de l'étude biométrique des glands du chêne faginé que la station de Baloul se distingue des autres stations par des glands relativement plus longs et plus lourds. L'influence de certaines caractéristiques environnementales et microenvironnementales spécifiques de la station, ou une variation génétique, ou encore une combinaison des deux facteurs pourrait être à l'origine de cette variabilité morphologique (Willan 1985). Mercier & Rainville (1996) indiquent que la morphologie des glands des chênes du Québec n'est pas influencée par les conditions du terrain, mais qu'elle est plutôt contrôlée par le génotype. Les conditions climatiques des stations peuvent également générer des variations sur la taille et la morphologie des glands (Baquedano et al. 2008 ; Bonito et al. 2011). Comme les glands utilisés ici ne concernent qu'une seule année de récolte, il est préférable de réexaminer sur une longue période la spécificité morphologique des glands de Baloul afin de confirmer la stabilité de ce caractère (Dupouey & Le Boulter 1989). Quant au niveau intra-stationnel, les variations observées dans les stations de Baloul et Chélia pourraient s'expliquer en grande partie par un effet maternel (Mercier & Rainville 1996). Des études conséquentes de morphométrie sur un ensemble de traits phénotypiques (par exemple morphométrie des feuilles sur les adultes, glands, phénologie) seraient nécessaires afin de caractériser en détail la variance de ces traits au niveau intra- et interstationnel et de conclure à une éventuelle différenciation variétale.

Les résultats obtenus ont montré que la taille des glands n'a aucune influence sur la germination des glands ainsi que sur le développement des semis, ce qui concorde avec les observations de Ke & Werger (1999), Tilki & Alpetkin (2005)

et Navarro et al. (2006). Houston (1987) ainsi qu'avec celles de Thompson & Rabinowitz (1989) qui notaient également l'absence d'une corrélation entre la taille des glands et celle des semis de chêne, ce qu'ils interprétaient comme le résultat d'une forte variation entre les stations. En revanche, d'autres auteurs suggéraient que la hauteur des plants de chêne rouge (*Quercus rubra* L.) après deux ans de culture est corrélée positivement au poids des glands (Kolb & Steiner 1989 ; Kremer 1990, 1994). En outre, selon Long & Jones (1996) et Quero et al. (2007, 2008) la taille des plants dépend fortement de la taille des glands durant les premières années de leurs développements, cet effet s'estompant progressivement jusqu'à sa disparition après quelques années (Quero et al. 2007).

Effet des prétraitements sur la germination

Les caractéristiques germinatives des glands paraissent être nettement améliorées par les prétraitements appliqués. En effet, l'enlèvement des péricarpes permet de réhydrater les embryons rendant ainsi la germination plus rapide et plus synchronisée (Schopmeyer 1974 ; Lamond 1978). A ce propos, Levert (1977) soulignait la présence d'une forte corrélation entre la teneur en eau des glands et leur vitesse de germination. Selon Lamond & Levert (1980), le péricarpe des glands du chêne pédonculé (*Quercus robur*) possède un effet dépressif sur la réhydratation des embryons ce qui pourrait expliquer la mauvaise germination des glands à teneur en eau inférieure à 35%. Merouani et al. (2001) notaient que la dormance des glands dépend probablement de l'arbre producteur, et suggèrent que la bonne conservation des glands peut lever cette dormance et améliorer en conséquence la vitesse et l'homogénéité de germination.

Cependant, une conséquence indésirable des prétraitements appliqués (enlèvement des péricarpes et immersion dans l'eau ordinaire) est d'avoir un taux de mortalité relativement élevé, avec la majeure partie des mortalités enregistrée avant la transplantation des semis dans les sachets polyéthylène. Ce phénomène pourrait être lié à la vulnérabilité des glands dénudés et des jeunes semis face aux différentes maladies (Oukabli et al. 2001), ainsi, il paraît être possible de résoudre ce problème en utilisant des fongicides.

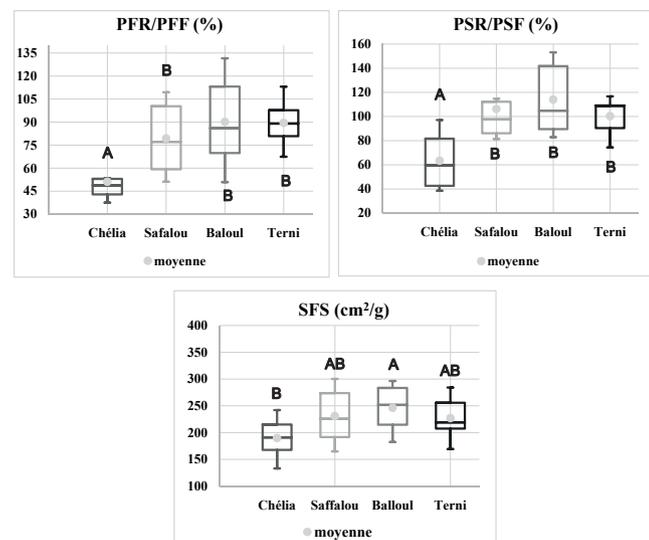


Figure 7 – Variabilité des caractères morphologiques des semis de chêne faginé (*Quercus faginea*) dans les quatre stations étudiées en Algérie. PFR/PFF : poids moyen frais des racines en g / poids moyen frais du feuillage en g ; PSR/PSF : rapport en pourcentage entre le poids moyen sec des racines et le poids moyen sec du feuillage ; (SFS) : rapport en cm²/g entre la surface foliaire et le poids approximatif sec des feuilles. Les valeurs marquées avec la même lettre ne sont pas significativement différentes, test de Tukey au seuil de 5%.

Étude de la croissance des semis

L'étude de la croissance des semis ne montre aucune différence à l'intérieur et entre les différentes stations d'étude. En effet, certains auteurs notent que la variation entre les différents semis ne se manifeste clairement qu'après quelques années de développement (Kremer 1994 ; Houston 1987).

L'analyse des traits morphologiques des semis montre que la station de Chélia se distingue par des feuilles de faibles dimensions. La diminution de la taille des feuilles présente une forme d'adaptation aux conditions climatiques pour les chênes méditerranéens dont *Q. faginea*, engendrant ainsi une meilleure résistance au déficit hydrique (Baldocchi & Xu 2007 ; Peguero-Pina et al. 2014 ; Gil-Pelegrín et al. 2017). Vu que les conditions de croissance des semis ont été homogènes, on peut suggérer que les différences observées sont possiblement liées aux variations génétiques qui auraient pour origine l'adaptation aux conditions environnementales

de la station de Chélia, notamment concernant la sécheresse (Trabut 1892).

CONCLUSION

Notre étude a mis en évidence des différences morphologiques concernant les glands et les plants du chêne faginé au niveau inter-stationnel en Algérie. Cette diversité est probablement causée par des variations génétiques et/ou des conditions environnementales des stations, qui n'ont pas encore été bien identifiées. Des études sont en cours actuellement visant à compléter cette contribution par des analyses génétiques, une caractérisation des conditions environnementales et une analyse morphologique des feuilles d'arbres adultes afin de confirmer la persistance chez les arbres adultes des caractères identifiés et pour mieux comprendre la diversité de l'espèce en Algérie.

Les résultats de la germination et de l'évolution des plants du chêne faginé révèlent un potentiel germinatif et de croissance considérables. Compte tenu de l'ensemble des facteurs qui menacent la pérennité du chêne faginé en Algérie, nous recommandons des actions pour la conservation de l'espèce telles que des reboisements, des plantations *ex situ* et des clôtures de protection pour éviter une régression réelle et irréversible des peuplements qui conduirait très probablement à sa disparition.

FICHIERS SUPPLÉMENTAIRES

Deux fichiers supplémentaires relatifs à cet article sont disponibles:

(1) Variabilité intra-stationnelle du potentiel germinatif des glands de chêne faginé (*Quercus faginea*) pour chaque traitement:

<https://doi.org/10.5091/plecevo.2019.1553.1893>

(2) Traits phénotypiques des semis de chêne faginé (*Quercus faginea*) de l'ensemble des arbres échantillonnés:

<https://doi.org/10.5091/plecevo.2019.1553.1895>

REMERCIEMENTS

Nous remercions tous les agents et les responsables des conservations des forêts des wilayas de Khenchela, Saida et Tiaret, et ceux du Parc National de Tlemcen pour leur aide et accompagnement sur le terrain.

RÉFÉRENCES

- Abdessemed K. (1985) Les problèmes de la dégradation des formations végétales dans l'Aurès (Algérie). Deuxième partie : Les mesures à prendre. *Forêt méditerranéenne* 7(1): 43–52.
- Adams J.C., Farrish K.W. (1992) Seedcoat removal increases speed and completeness of germination of water oak. *Tree Planter's Notes* 43(2): 52–53.
- Addinsoft (2016) XLSTAT: Data analysis and statistical solution for Microsoft Excel. Paris, France. Available at <https://www.xlstat.com/en/> [accessed 19 Mar. 2019].
- Alfonso S.M.A. (1985) Ecología, tipología, valoracio y atlernasivas silvopascícolas de los quejigares (*Quercus faginea* Lamk.) de Guadalajara. PhD thesis, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, Spain. Available at http://oa.upm.es/13832/1/ALFONSO_SAN_MIGUEL_AYANZ.pdf [accessed 26 Mar. 2019].
- Amaral Franco J. (1990) *Quercus* L. In: Castroviejo S., Lainz M., López G.G., Montserrat P., Muñoz G.F., Paiva J., Villar L. (eds) Flora Ibérica. Plantas vasculares de la Península Ibérica e Islas Baleares. Vol. II. Platanaceae - Plumbaginaceae (partim): 15–36. Madrid, Real Jardín Botánico, CSIC.
- Baldocchi D.D., Xu L. (2007) What limits evaporation from Mediterranean oak woodlands – the supply of moisture in the soil, physiological control by plants or the demand by the atmosphere? *Advances in Water Resources* 30(10): 2113–2122. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2006.06.013>
- Baquedano F.J., Valladares F., Castillo F.J. (2008) Phenotypic plasticity blurs ecotypic divergence in the response of *Quercus cocifera* and *Pinus halepensis* to water stress. *European Journal of Forest Research* 127(6): 495–506. <https://doi.org/10.1007/s10342-008-0232-8>
- Bollen K.A. (1989) Structural equations with latent variables. New York, Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118619179>
- Bonito A., Varone L., Gratani L. (2011) Relationship between acorn size and seedling morphological and physiological traits of *Quercus ilex* L. from different climates. *Photosynthetica* 49: 75–86. <https://doi.org/10.1007/s11099-011-0014-2>
- Bonner F.T. (1968) Water uptake and germination of red oak acorns. *Botanical Gazette* 129(1): 83–85. <https://doi.org/10.1086/336416>
- Bonner F.T. (1987) Importance of seed size in germination and seedling growth. In: Karma S., Ayling R. (eds) Proceedings of the international symposium on forest seed problems in Africa. Report 7: 53–61. Harare, Zimbabwe & Umeå, Sweden, Department of Forest Genetics and Plant Physiology.
- Caliskan S. (2014) Germination and seedling growth of holm oak (*Quercus ilex* L.): effects of provenance, temperature, and radicle pruning. *iForest* 7: 103–109. <https://doi.org/10.3832/ifer0967-007>
- Capelo J., Catry F. (2007) A distribuicao do carvalho- português em Portugal. In: Silva J.S. (ed.) Os carvalhais: um património a conservar: 83–94. Lisbon, Fundação Luso-Americana.
- Carvalho A. (1997) Madeiras portuguesas – Estrutura anatomica, propriedades, utilizacoes. Vol. II. Lisbon, Direcção-Geral das Florestas.
- Ceballos L., Ruiz de la Torre J. (1971) Árboles y arbustos de la España Peninsular. Madrid, Instituto forestal de investigaciones y experiencias.
- Côme D. (1970) Les obstacles à la germination (monographie et physiologie végétale). Paris, Masson et Cie.
- Côme D., Corbineau F. (1998) Semences et germination. In: Mazliak P. (ed.) Physiologie végétale II. Croissance et développement: 185–313. Paris, Hermann.
- Dobignard A., Chatelain C. (2012) Index synonymique et bibliographique de la flore d'Afrique du Nord. Vol. 4 : Dicotyledoneae : Fabaceae - Nymphaeaceae. Genève, Édition des conservatoire et jardin botaniques.
- Dupouey J.L., Le Boulter H. (1989) Discrimination morphologique des glands de chênes sessile (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) et pédonculé (*Quercus robur* L.). *Annales des sciences forestières* 46(2): 187–194. <https://doi.org/10.1051/forest:19890207>
- Farmer R.E.J. (1980) Comparative analysis of 1st-year growth in six deciduous tree species. *Canadian Journal of Forest Research* 10(1): 35–41. <https://doi.org/10.1139/x80-007>

- Gaouar A. (1980) Hypothèses et réflexions sur la dégradation des écosystèmes forestiers dans la région de Zarifet (Algérie). *Forêt méditerranéenne* 2(2): 131–146.
- GBIF (2019) GBIF.org (5 February 2019) GBIF Occurrence Download. <https://doi.org/10.15468/dl.8lx3d7>
- Gil-Pelegrín E., Ángel S.M., María C.J., Peguero-Pina J.J., Sancho-Knapik D. (2017) Oaks under Mediterranean-type climates: functional response to summer aridity. In: Gil-Pelegrín E., Peguero-Pina J.J., Sancho-Knapik D. (eds) Exploring the functional diversity of genus *Quercus* L. *Tree Physiology* vol. 7: 137–177. Cham, Springer.
- Hopper G.M. (1982) Seed dormancy and germination of northern red oak. PhD thesis, Virginia Polytechnic Institute, Blacksburg, USA.
- Hopper G.M., Smith D.Wm., Parrish D.J. (1985) Germination and seedling growth of northern red oak: effects of stratification and pericarp removal. *Forest Science* 31(1): 31–39.
- Houston D.B. (1987) Variation in southern seed sources of Northern red oak. In: Proceedings of the 5th North Central Tree Improvement Conference, August 10–12, Fargo, North Dakota: 132–140.
- Jones L., Brown C.L. (1966) Cause of slow germination in cherry-bark and northern red oak. *Proceedings of the Association of Official Seed Analysts* 56: 82–88.
- Ke G., Werger M.J.A. (1999) Different responses to shade of evergreen and deciduous oak seedlings and the effect of acorn size. *Acta Oecologica* 20(6): 579–586. [https://doi.org/10.1016/S1146-609X\(99\)00103-4](https://doi.org/10.1016/S1146-609X(99)00103-4)
- Kolb T.E., Steiner K.C. (1989) Genetic variation among and within single-tree progenies of northern red oak. *Forest Science* 35: 251–256.
- Koumiche F., Benmahioul B. (2016) Effet de quelques traitements physiques sur la germination des glandes et la croissance ultérieure des plants de chêne vert (*Quercus rotundifolia* Lam.). *Algerian Journal of Arid Environment* 6(2): 83–92.
- Kremer A. (1990) Combined provenance and progeny test. Bordeaux, INRA éditions, Laboratoire d'amélioration des arbres forestiers.
- Kremer A. (1994) Programme d'amélioration génétique du chêne rouge en France. In: Timbal J., Kremer A., Le Goff N., Nepveu G. (eds) Le chêne rouge d'Amérique. Bordeaux, INRA éditions.
- Lamhamedi M.S., Ammari Y., Fecteau B., Fortin J.A., Margolis H. (2000) Problématique des pépinières forestières en Afrique du nord et stratégies d'orientation. *Cahiers Agricultures* 9: 369–380.
- Lamond M. (1978) Péricarpe et cinétique de germination des glandes de chêne pédonculé. *Annales des Sciences Forestières* 35(3): 203–212. <https://doi.org/10.1051/forest/19780303>
- Lamond M., Levert J. (1980) Influence des enveloppes séminales sur l'imbibition des glandes de chêne pédonculé (*Q. robur* L.). *Annales des Sciences Forestières* 37(1): 73–83. <https://doi.org/10.1051/forest:19800105>
- Levert J. (1977) Etude de l'influence de quelques facteurs physiques sur la germination des glandes de chêne pédonculé (*Quercus pedunculata* Ehrh., syn.: *Q. robur* L.). Master thesis [Mémoire de D.E.A.], Université de Clermont II, Clermont-Ferrand, France.
- Long T.J., Jones R.H. (1996) Seedling growth strategies and seed size effects in fourteen oak species native to different soil moisture habitats. *Trees* 11(1): 1–8. <https://doi.org/10.1007/s004680050051>
- López González G.A. (2001) Los árboles y arbustos de la Península Ibérica e Islas Baleares. Tomo I. Madrid, Mundi-Prensa.
- Maire R. (1961) Flore de l'Afrique du Nord. Tome 6. Paris, Paul Lechevalier.
- Mercier S., Rainville A. (1996) Effet de la morphologie, du génotype et de la germination précoce des glands de chêne rouge sur la croissance des plants en récipient. *Mémoire de recherche forestière* n° 123. Québec, Gouvernement du Québec.
- Merouani H., Branco C., Helena M., Almeida M.H., Peirira J.S. (2001) Comportement physiologique des glands de chêne-liège (*Quercus suber* L.) durant leur conservation et variabilité inter-individus producteurs. *Annales des sciences forestières* 58(2): 143–153. <https://doi.org/10.1051/forest:2001114>
- Navarro F.B., Jimenez M.M., Ripoll M.A., Ondono E., Gallego E., Simon E. (2006) Direct sowing of holm oak acorns: effects of acorn size and soil treatment. *Annals of Forest Science* 63(8): 961–967. <https://doi.org/10.1051/forest:2006079>
- Oukabli A., Lansarib A., Loudiyil W., Abousalim A. (2001) Effets endogamiques sur la germination et la croissance de semis du cultivar autocompatible Tuono (*Prunus dulcis*). *Fruits* 56(3): 197–205.
- Peguero-Pina J.J., Sancho-Knapik D., Barrón E., Camarero J.J., Vilagrosa A., Gil-Pelegrín E. (2014) Morphological and physiological divergences within *Quercus ilex* support the existence of different ecotypes depending on climatic dryness. *Annals of Botany* 114(2): 301–313. <https://doi.org/10.1093/aob/mcu108>
- Pérez-Ramos I.M., Gómez-Aparicio L., Villar R., García L.V., Marañón T. (2010) Seedling growth and morphology of three oak species along field resource gradients and seed-mass variation: a seedling-age-dependent response. *Journal of Vegetation Science* 21(3):419–437. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2009.01165.x>
- Quantum GIS Development Team (2016) QGIS Geographic Information System, version 2.8.11. Open Source Geospatial Foundation Project. Available from <https://www.qgis.org/en/site/> [accessed 19 Mar. 2019].
- Quero J.L., Villar R., Marañón T., Zamora R., Poorter L. (2007) Seed-mass effects in four Mediterranean *Quercus* species (Fagaceae) growing in contrasting light environments. *American Journal of Botany* 94(11): 1795–1803. <https://doi.org/10.3732/ajb.94.11.1795>
- Quero J.L., Villar R., Marañón T., Zamora R., Vega D., Sack L. (2008) Relating leaf photosynthetic rate to whole plant growth: drought and shade effects on seedlings of four *Quercus* species. *Functional Plant Biology* 35(8): 725–737. <https://doi.org/10.1071/FP08149>
- Sarir R., Benmahioul B. (2017) Etude comparative de la croissance végétative et du développement de jeunes semis de trois espèces de chênes (chêne vert, chêne liège et chêne zéen) cultivés en pépinière. *Agriculture and Forestry Journal* 1(1): 42–48. <https://doi.org/10.5281/zenodo.810092>
- Schoenenberger A. (1972) Présentation géobotanique du massif des Aurès (Algérie). *Comptes rendus des séances mensuelles de la Société des Sciences Naturelles et Physiques du Maroc* 38: 68–77.
- Schopmeyer C.S. (1974) Seeds of woody plants in the United States. *Agriculture Handbook* 450. Washington, Forest Service, US Department of Agriculture.
- Schwarz O. (1964) *Quercus* L. In: Tutin T.G., Heywood V.H., Burges N.A., Valentine D.H., Walters S.M., Webb D.A. (eds) *Flora europaea* vol. I. First Edition. Cambridge, Cambridge University Press. <https://doi.org/10.5281/zenodo.302862>
- Seltzer P. (1946) Le climat de l'Algérie. Alger, Carbonel.
- Tassin C. (2012) La complexité des étagements végétaux. In: Tassin C. (ed.) Paysages végétaux du domaine méditerranéen : bassin

- méditerranéen, Californie, Chili central, Afrique du Sud, Australie méridionale: 283–323. Marseille, IRD Editions. <https://doi.org/10.4000/books.irdeditions.9799>
- Thompson B.E. (1985) Seedling morphological evaluation – What you can tell by looking. In: Duryea M.L. (ed.) Evaluating seedling quality: principles, procedures and predictive abilities of major tests: 59–71. Corvallis, Oregon State University, Forest Research Laboratory.
- Thompson K., Rabinowitz D. (1989) Do big plants have big seeds? *The American Naturalist* 133(5): 722–728. <https://doi.org/10.1086/284947>
- Tilki F., Alptekin C.U. (2005) Variation in acorn characteristics in three provenances of *Quercus aucheri* Jaub. et Spach and provenance, temperature and storage effects on acorn germination. *Seed Science and Technology* 33(2): 441–447. <https://doi.org/10.15258/sst.2005.33.2.16>
- Trabut L. (1892) Sur les variations du *Quercus Mirbeckii* Durieu en Algérie. *Revue générale de Botanique* 4: 1–6.
- Trubat R., Cortina J., Vilagrosa A. (2010) Nursery fertilization affects seedling traits but not field performance in *Quercus suber* L. *Journal of Arid Environments* 74(4): 491–497. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2009.10.007>
- Villar-Salvador P., Oliet Pala J., Heredia Guerrero N., Uscola Fernandez M., Goicoetxea O. (2013) *Quercus faginea* Lam. y *Quercus humilis* Mill. In: Pemán J., Navarro-Cerrillo R.M., Nicolás J.L., Prada M.A., Serrada R. (eds) Producción y manejo de semillas y plantas forestales II: 206–225. Madrid, Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente, Organismo Autónomo Parques Nacionales.
- Willan R.L. (1985) A guide to forest seed handling. *FAO Forestry Paper* 20/2. Rome, FAO.
- Zine El Abidine A., Bouderrah M., Bekkour A., Lamhamedi M.S., Abbas Y. (2016) Croissance et développement des plants de deux provenances de chêne-liège (*Quercus suber* L.) produits en pépinière dans des conteneurs de différentes profondeurs. *Forêt Méditerranéenne* 37: 137–150.
- Communicating Editor: Alexandra Ley
- Submission date: 1 Nov. 2018
Acceptance date: 19 Mar. 2019
Publication date: 28 Nov. 2019