

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

المدرسة الوطنية العليا للفلاحة الحراش- الجزائر

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE AGRONOMIQUE EL HARRACH- ALGER



THÈSE

Présentée par : **BENAMIROUCHE Samir**

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE **DOCTORAT EN SCIENCES AGRONOMIQUES**

OPTION : **FORESTERIE**

**Essai d'amélioration de la qualité des plants de chêne liège
(*Quercus suber* L.) élevés en pépinière : implications pour la
régénération artificielle de l'espèce**

Soutenue le 12/11/2020

Devant le jury

Président :	M. BELLATRECHE Mohammed	Professeur	ENSA
Directrice de thèse :	Mme BENHOUHOU Salima	Professeure	ENSA
Examineurs :	M. DAOUD Youcef	Professeur	ENSA
	Mme SMAIL-SAADOUN Noria	Professeure	UMMTO
	Mme YAHY Nassima	Professeure	USTHB

Remerciements

Que toutes les personnes qui, de près ou de loin, se sont associés à la réalisation de cette thèse, pour leur intérêt, leur aide, leur encouragement, trouvent ici l'assurance de ma reconnaissance la plus vive.

Mes vifs remerciements vont en premier à mes encadreurs M. MESSAOUDENE Mohand et Mme BENHOUHOU Salima. Merci à tous les deux de m'avoir fait confiance pour mener à bien cette thèse et de m'avoir guidé tout en me faisant confiance et en me laissant une certaine liberté dans mes orientations de recherche. Qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde reconnaissance. Malheureusement, au moment de présenter le fruit de ces longues années de recherche, M. Messaoudène n'est plus parmi nous, qu'Allah lui accord sa miséricorde et l'accueille dans son vaste paradis. Bien que mes recherches soient loins de l'écologie des communautés végétales, madame BENHOUHOU n'a pas hésité a consacré de son temps pour me suivre et m'exhorté de finir cette thèse. Ces corrections m'ont aidé à aiguillonner le manuscrit de thèse vers sa forme finale, je la remercie encore infiniment.

Je remercie aussi chaleureusement le Pr. BELLATRECHE Mohammed d'avoir accepté de présider le jury de ma thèse. Mes vifs remerciements vont également aux membres du jury : Pr. DAOUD Youcef (ENSA), Pr. SMAIL-SAADOUN Noria (UMMTO) et Pr. YAHY Nassima (USTHB) d'avoir accepté sans hésitation d'examiner mes travaux et d'améliorer le manuscrit de thèse.

Je remercie également toutes celles et tous ceux qui m'ont aidé aux réflexions préliminaires, à la mise en place et au suivi des dispositifs expérimentaux, à la collecte des données, aux traitements statistiques, aux analyses, à l'interprétation des résultats et la rédaction des articles, je pense notamment à mon collègue et co-équipier M. CHOUIAL Mebarek avec qui je partage tous mes travaux de recherche. Un grand merci aussi à tout le personnel de la station INRF de Jijel chacun en son nom. Sans leurs aides, il n'aurait pas été possible de mener à bien les travaux de recherches de cette thèse. La réussite de cette thèse est la votre également.

À titre plus personnel, j'ai une pensée toute particulière pour ma famille, dont le soutien ne m'a jamais fait défaut et pour lesquelles aucun mot ne pourrait exprimer mes sentiments à leur égard. Ils ont su concourir à leur façon à l'aboutissement de cette thèse que je leur dédie aujourd'hui. Je veux adresser ici une pensée toute particulière à ma chère mère qu'Allah lui accord sa miséricorde et l'accueille dans son vaste paradis.

MERCI A TOUS DU PLUS PROFOND DE MON CŒUR...

Samir

Hommage au Docteur Mohand MESSAOUDENE

Au terme de ce travail, j'aimerais rendre un hommage particulier au Docteur MESSAOUDENE Mohand, mon directeur de thèse, décédé à mi-chemin de la finalisation de cette thèse. Dans le cadre de cet hommage, il est difficile d'évoquer l'étendue de son œuvre en recherche forestière. Il y a lieu toutefois de rappeler que c'est à lui que nous devons la solution à beaucoup de problèmes liés à la gestion et la préservation du patrimoine forestier national. Le Docteur MESSAOUDENE connaissait mieux que quiconque la forêt algérienne à travers ses déplacements et sa réponse immédiate et sans hésitation aux invitations des forestiers des quatre coins du pays. Doué de qualités humaines et intellectuelles uniques, du sens de l'écoute et de la communication, donnant tout son temps au travail, il est l'auteur de plusieurs publications. Il participa à de très nombreuses rencontres scientifiques tant au niveau national qu'international et assura l'encadrement de plusieurs mémoires d'ingénieurs, de magister et de thèses de doctorat. Il était infatigable et un vrai passionné de la forêt au sein de laquelle il rendit l'âme le 18 novembre 2016. Hormis la reconnaissance de ses collègues de l'INRF, des universitaires et des gens du terrain avec lesquels il a tant collaboré, il n'a pas encore reçu l'hommage et la reconnaissance que lui donnent droit sa haute valeur intellectuelle et tous les services qu'il a rendus à la forêt algérienne. Il reste un modèle de chercheur passionné et chevronné. C'est un privilège qu'il m'a accordé en étant le directeur de ma thèse, je garde en mémoire son soutien spontané et ses incitations à travailler et à avancer dans mes recherches qu'il soutenait avec force et enthousiasme. Qu'Allah lui accorde sa miséricorde et l'accueille de son vaste paradis.

Résumé

Afin de pallier la déficience de la régénération depuis longtemps signalée au niveau des subéraies, plusieurs actions de reforestation ont été réalisées mais sans grand succès. Bien qu'attribuables à plusieurs causes, l'utilisation de plants de mauvaise qualité est l'un des principaux facteurs impliqués dans les échecs enregistrés. En effet, des insuffisances à tous les niveaux sont constatés en pépinière (semence, substrat, technique de semis, conduite d'élevage) en raison du manque de recherches sur l'élevage de plants de chêne liège qui pendant longtemps n'a pas été considérée comme espèce de reboisement. Pour pallier ces insuffisances, nous avons initié une série d'expérimentations au niveau de la pépinière expérimentale de la station régionale de recherche forestière de Jijel pour optimiser les conditions d'élevage et produire des plants de chêne liège de meilleure qualité. L'originalité des recherches menées a donné lieu à des résultats nouveaux et intéressants qui devraient permettre d'améliorer sensiblement la qualité des plants de chêne liège. La nouvelle technique de conservation mise en œuvre a rendu possible une bonne conservation de glands sur une durée de deux années permettant un approvisionnement régulier des pépinières en glands. Le compost élaboré à base d'*Acacia cyanophylla* permet de produire des plants de chêne liège répondant aux standards de qualité, aptes à reprendre et survivre après plantation. L'augmentation du volume du conteneur semble favoriser la croissance par rapport à la qualité des plants. La relation semence-plant ne semble pas être la règle chez le chêne liège, les efforts devraient donc être orientés vers le choix des meilleures provenances. Le semis de glands intacts permet de réduire significativement les déformations racinaires des plants en pépinière. En plus d'essais de confirmation sur le terrain, des recherches complémentaires sont préconisées pour une meilleure maîtrise de l'itinéraire d'élevage propre au chêne liège.

Mots clés : Chêne liège, qualité de plants, pépinière, conservation de glands, substrat d'élevage, technique de semis, déformations racinaires.

ملخص

في إطار تحسين وضعية غابات البلوط الفليني التي تعاني من نقص ملحوظ في عملية التجديد الطبيعي, تم القيام بعدة عمليات تشجير إلا أن النتائج كانت في الغالب غير مرضية نظرا لعدة عوامل طبيعية و تقنية. النوعية الرديئة للشجيرات المستعملة تعتبر أحد أهم الاسباب المساهمة في النتائج المحصل عليها. نقص الابحاث المتعلقة بإنتاج شجيرات البلوط الفليني, الذي لم يكن من بين أهم الأنواع المعتمدة في عمليات التشجير, أدى إلى وجود عدة نقائص على مستوى الطرق التقنية المتبعة في المشاتل. من أجل المساهمة في تحسين نوعية الشجيرات, تم القيام بعدة أعمال بحث في إطار هذه الاطروحة والمتعلقة بتخزين البذور, خليط النمو, تقنية الزرع و التشوهات الجدرية. الأبحاث التي أنجزت بالمحطة الجهوية للأبحاث الغابية يجعل مكنة من الحصول على نتائج جد مرضية. طريقة التخزين الجديدة التي تم تحديدها تمكن من تخزين بذور البلوط لمدة تقارب السنتين وبالتالي تأمين توفير مستمر من البذور. الدبال المتحصل عليه من عملية تسميد مطحون أعصان شجرة الأكاسيا يمكن من إنتاج شجيرات ذات نوعية عالية و قدرة على الانطلاق و النمو بعد الغرس. إستعمال حاويات ذات حجم كبير يساهم في تسريع نمو الشجيرات على حساب نوعيتها. العلاقة بين وزن البذرة و نمو و نوعية الشجيرة لم تتضح من خلال التجربة المنجزة و بالتالي نوصي باستعمال أحسن أنواع البذور بدلا من فرزها حسب الوزن. زرع البذور من دون إنتاشها مسبقا يساهم بقدر كبير في التقليل من حدوث التشوهات الجدرية لذى الشجيرات. بالإضافة إلى إجراء تجارب في الحقل من أجل تأكيد النتائج المحصل عليها في المشتلة, تم اقتراح أبحاث تكميلية من أجل تحكّم أكثر في تقنيات إنتاج شجيرات ذات جودة.

الكلمات الدالة: البلوط الفليني, المشتلة, نوعية الشجيرات, تخزين البذور, خليط النمو, تقنية الزرع, التشوهات الجدرية.

Abstract

To palliate the deficiency of the natural regeneration that has long been reported for the cork oak forests, several reforestation projects have been made but without much success. Besides the rude survival conditions due to the Mediterranean climate, the unsuccessful reforestations may be due in part to the low quality of the planted seedlings. Several insufficiencies were noticed in nurseries due to a lack of research on breeding of cork oak seedlings which was not considered a reforestation species. To overcome these shortcomings, we have initiated some experiments in the nursery of the regional station of forest research of Jijel. New and interesting results have been obtained from the experiments carried out that could significantly improve seedling quality. In particular, the new storage method developed makes it possible to have a long and safe storage of acorns over two years ensuring thus a regular supply of acorns. Compost based on *A. cyanophylla* enabled to produce high quality cork oak seedlings meeting quality standards, able to recover and survive after planting. Seedling emergence and growth were rather influenced by container size than seed weight. However, increasing container volume improved much more growth than quality in cork oak seedling. The root deformations on cork oak containerized seedlings can be significantly minimized by sowing intact acorns than germinated acorns for seedling production. In addition to field performance tests to confirm the nursery results, additional research is needed for a better understanding of breeding ways of cork oak seedlings.

Key words: Cork oak, seedling quality, nursery, acorn storage, growing medium, sowing method, root deformation.

TABLE DES MATIÈRES

Remerciements	
Résumé	
Liste des tableaux	
Liste des figures	

Introduction générale.....	1
-----------------------------------	----------

Chapitre 1. Le chêne liège : Description, écologie et régénération.

I.1. Caractères généraux	10
I.1.1 Position taxonomique	10
I.1.2. Caractères généraux de l'arbre	10
I.1.2.1. Allure, dimensions et longévité	10
I.1.2.2. Feuilles	11
I.1.2.3. Bourgeons	11
I.1.2.4. Inflorescences	11
I.1.2.5. Glands	11
I.1.2.6. Enracinement	12
I.1.2.7. Bois	12
I.1.2.8. Ecorce	12
I.2. Exigences écologiques	15
I.2.1. Exigences climatiques	15
I.2.1.1. Précipitations	15
I.2.1.2. Température.....	15
I.2.1.3. Lumière	15
I.2.2. Exigences édaphiques	15
I.2.3. Limite altitudinale et étages bioclimatiques.....	16
I.2.3.1. Limite altitudinale	16
I.2.3.2. Etages bioclimatiques	16
I.3. Aire de répartition du chêne liège	16
I.3.1. Essais d'introduction du chêne liège en dehors de son aire naturelle	18
I.3.2. Le chêne liège en Algérie	18
I.4. Cortège floristique et associations du chêne liège.....	20
I.5. Dépérissement et problèmes pathologiques	21
I.6. Régénération du chêne liège	23
I.6.1. Régénération naturelle par semis.....	23
I.6.2. Régénération par rejets de souches	24
I.6.3. Régénération assistée par semis direct de glands	26
I.6.4. Régénération assistée par transplantation	28
I.6.4.1. Problèmes liés à l'élevage de plants de chêne liège	28
I.6.5. Les reboisements de chêne liège en Algérie	30
I.7. Conclusion	31

Chapitre 2. Conservation des glands de chêne liège (*Quercus suber* L., 1753) et effets de la durée de conservation sur la vigueur des plants: implications pour la régénération artificielle.

Résumé.....	35
Abstract	36
II.1. Introduction	37
II.2. Matériel et méthode	38
II.2.1. Collecte et manipulation des glands	38
II.2.2. Modalités de conservation	38
II.2.2.1. Traitements	38
II.2.2.2. Contenants de conservation	39
II.2.2.3. Conditionnement et environnement de conservation	39
II.2.3. Suivi de la viabilité des glands	40
II.2.3.1. Teneur en eau des cotylédons	40
II.2.3.2. Test et paramètres de germination	41
II.2.3.3. Pertes en glands	41
II.2.4. Croissance et vigueur des plants	41
II.2.5. Analyse statistique	42
II.3. Résultats	42
II.3.1. Teneur en eau	42
II.3.2. Germination	44
II.3.3. Pertes	47
II.3.4. Croissance et vigueur des plants	49
II.4. Discussion	50
II.4.1. Teneur en eau	50
II.4.2. Germination	52
II.4.3. Pertes	53
II.4.4. Croissance et vigueur des plants	55
II.5. Implications pour la régénération artificielle de l'espèce	56
II.6. Conclusion	57

Chapitre 3. Essai de production et de valorisation de compost d'*Acacia cyanophylla* pour la production de plants de chêne liège (*Quercus suber* L.) : résultats en pépinière et après transplantation.

Résumé	60
Abstract	60
III.1. Introduction	61
III.2. Matériel et méthode	62
III.2.1. Production du compost	62
III.2.2. Valorisation du compost pour la production de plants de chêne liège	64
III.2.2.1. Description du test	64
III.2.2.2. Mesures et observations	65
III.2.3. Etude de la capacité de régénération racinaire et de la reprise après transplantation.....	65
III.2.4. Analyse des données	66
III.3. Résultats	66
III.3.1. Effet du compost sur la qualité des plants de chêne liège	66

III.3.1.1. Caractéristiques chimiques et physiques des substrats étudiés	66
III.3.1.2. Croissance des plants	68
III.3.2. Capacité de régénération racinaire et reprise après plantation	72
III.4. Discussion	73
III.5. Conclusion	77

Chapitre 4. Effets du poids du gland et du volume du conteneur sur l'émergence et la croissance initiale des plants du chêne méditerranéen (*Quercus suber* L.) en pépinière.

Résumé	79
Abstract	79
IV.1. Introduction	80
IV.2. Matériel et méthode	82
IV.2.1. Collecte et manipulation des glands	82
IV.2.2. Elevage de plants	82
IV.2.3. Protocole expérimental, échantillonnage et mesures	83
IV.2.4. Analyse des données	84
IV.3. Résultats	84
IV.3.1. Vitesse et taux de levée.....	84
IV.3.2. Croissance en hauteur et en diamètre	85
IV.3.3. Production de biomasse et indice de qualité.....	87
IV.4. Discussion	89
IV.5. Conclusion	92

Chapitre 5. Effets de la longueur de la radicule et du volume du conteneur sur les déformations racinaires chez le chêne méditerranéen *Quercus suber* L.

Résumé	95
Abstract	95
V.1. Introduction	96
V.2. Matériel et méthode	98
V.2.1. Collecte et manipulation des glands	98
V.2.2. Semis de glands et élevage de plants	98
V.2.3. Protocole expérimental.....	99
V.2.4. Echantillonnage et examen des racines....	100
V.2.5. Analyses statistiques.....	100
V.3. Résultats	100
V.3.1. Effets des modalités de semis	101
V.3.2. Effets du volume du conteneur	102
V.4. Discussion	102
V.5. Conclusion	106

Chapitre 6. Conclusion générale et perspectives de recherche.

VI.1. Synthèse des résultats	109
VI.2. Implications pour la régénération artificielle du chêne liège	114
VI.3. Perspectives de recherche	118
Références bibliographiques	121

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1. Evolution des superficies estimées des forêts de chêne liège dans son aire naturelle	17
Tableau 1.2. Répartition du chêne liège en Algérie	19
Table 2.1. Storage combinations tested	39
Table 2.2. Acorns losses during storage according to storage combinations	48
Tableau 3.1. Nature et dosage (exprimé en proportion massique de l'apport) des substrats utilisés comme amendement dans les différents essais et le témoin	64
Tableau 3.2. Propriétés physiques et chimiques des substrats étudiés	67
Tableau 3.3. Capacité de régénération racinaire des plants de chêne liège	72
Table 4.1. Container effects on height growth, collar diameter and the ratio of height to diameter (SQ) of <i>Quercus suber</i> L. seedlings at 60, 120 and 180 days after sowing	86
Table 4.2. Container effects on emergence and biomass production of <i>Quercus suber</i> L. seedlings	87
Table 4.3. Pearson correlation between seed weight and seedling attributes in the three container types	88
Table 5.1. Percentage of seedlings with deformed roots observed on six-month-old cork oak container-grown seedlings	100
Table 5.2. Effects of sowing methods on type and percentage of detrimental root deformations observed on six-month-old cork oak container-grown seedlings	101
Table 5.3. Effects of container volume on type and percentage of detrimental root deformations observed on six-month-old cork oak container-grown seedlings	102

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Peuplement de chêne liège	14
Figure 1.2 : Allure d'un arbre isolé	14
Figure 1.3 : Rameau avec feuilles	14
Figure 1.4 : Inflorescences au mois d'avril	14
Figure 1.5 : Glands mûrs de forme et de dimensions variables	14
Figure 1.6 : Arbuste de 6 ans avec écorce différenciée en liège mâle	14
Figure 1.7 : Coupe transversale du tronc d'un arbre de 20 ans issu d'une régénération par transplantation	14
Figure 1.8 : Arbres fraîchement deliègés	14
Figure 1.9 : Répartition mondiale approximative du chêne liège selon Bohbot et al. (2005)	17
Figure 1.10 : Aire de répartition naturelle du chêne liège en Algérie (Mezali, 2003)	19
Figure 1.11 : Principaux facteurs biotiques et abiotiques agissant sur le dépérissement du chêne liège (Amandier, 2006)	22
Figure 1.12 : Dépérissement du chêne liège (Canton Chahna, FD Beni Afer, 2017)	23
Figure 1.13 : Dépérissement du chêne liège (FD Beni Fiteh, 2016)	23
Figure 1.14 : Pâturage en forêt de chêne liège	24
Figure 1.15 : Semis de chêne liège issus d'une régénération naturelle en forêt mise en défens	24
Figure 1.16 : Régénération par recépage d'une forêt de chêne liège incendiées (FD Ouled Askeur, W. Jijel)	25
Figure 1.17 : Souche n'ayant pas rejeté (FD Ouled Askeur, W. Jijel)	25
Figure 1.18 : Glands semés en trou (Forêt de Kissir, janv. 2013)	27
Figure 1.19 : Plantule de chêne liège issue d'un gland semé en trou (Forêt de Kissir, juin 2013).....	27

Figure 1.20 : Principales déformations racinaires rédhibitoires observées chez les plants de chêne liège en pépinière	29
Figure 1.21 : Plants de chêne liège élevés dans un substrat à base de terre	30
Figure 1.22 : Pertes en glands engendrées par la non-maitrise de leur conservation.....	30
Figure 2.1. Changes in mean moisture content according to length and conditions of storage	43
Figure 2.2. Changes in germination percentages of acorns according to length and conditions of storage	46
Figure 2.3. Mean height (H) and collar diameter (D) with standard errors of cork oak containerized seedlings supplied by acorns stored for fifteen months	49
Figure 3.1 : Aspect des plants des dix substrats en fin de cycle d'élevage en pépinière	68
Figure 3.2. Evolution des hauteurs des plants de chêne liège au cours d'élevage	69
Figure 3.3. Evolution des diamètres au collet des plants de chêne liège au cours d'élevage.....	70
Figure 3.4. Ratios de robustesse des plants de chêne liège en fin du cycle d'élevage	71
Figure 3.5. Production de matière sèche des parties aérienne et racinaire des plants de chêne liège en fin du cycle d'élevage	71
Figure 3.6. Taux de reprise des plants des dix substrats après une année de transplantation	73
Figure 4.1. Emergence percentage and time of seedlings grown in the three containers size	84
Figure 5.1. Root deformation on six-year-old cork oak seedling excavated from reforestation project in the Algerian north eastern coast	99
Figure 5.2. Cork oak acorns representing the five sowing methods tested	99



INTRODUCTION GÉNÉRALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Le chêne liège, *Quercus suber* Linné 1753, est un arbre remarquable de la forêt méditerranéenne et de son paysage. C'est une espèce de première importance tant sur le plan de la superficie qu'au niveau de son intérêt écologique et socio-économique. Cette espèce de la famille des Fagacées occupe environ 2 millions d'hectares (Houston Durrant et al. 2016), dont 1,1 millions d'hectares en Europe (Portugal, Espagne, Italie, France) et 900 000 hectares en Afrique du Nord (Algérie, Maroc, Tunisie). En dépit des différents systèmes de gestion des espaces forestiers (subéraie, forêt à chêne liège, maquis) dans l'aire de cette espèce d'un pays à l'autre, les biens et services recherchés sont identiques et axés principalement sur la production de liège à diverses fins (bouchons, aggloméré, revêtement, décoration, etc.). Malgré les problèmes de trichloroanisole ou *TCA* (Simpson et Sefton, 2008) et la dévaluation sensible à hauteur de 30 % des prix du bouchon et produits dérivés du liège à partir des années 2000 (Piazzetta, 2005 ; Aronson et al. 2009), ce matériau naturel réussit toujours à se maintenir face à d'autres matériaux synthétiques plus accessibles sur le marché. Par ailleurs, des activités secondaires comme les parcours pour le cheptel, la fabrication du charbon de bois, le ramassage de glands, l'apiculture, la cueillette de plantes médicinales, aromatiques et condimentaires, des champignons comestibles et des mousses poussant avec cette espèce procurent une part non négligeable des produits forestiers non ligneux (PFNL) générés par la forêt de chêne liège. De plus, ces forêts remplissent plusieurs fonctions écologiques et services écosystémiques ; elles renferment une biodiversité importante, jouent un rôle paysager remarquable, participent efficacement à la lutte contre l'érosion du sol et à la séquestration du carbone. En somme, la forêt de chêne liège offre une multitude de services économiques, écologiques, sociales et environnementales lui procurant une place de première importance à l'échelle méditerranéenne et mondiale.

En Algérie, le chêne liège constitue la deuxième essence de la forêt algérienne. Il couvre une superficie de 357 582 hectares après le pin d'Alep (880 000 ha) mais ne constitue de véritables subéraies productives que sur près de 230 000 hectares, dont 68% sont de vieilles futaies ayant subi plusieurs démasclages et devraient être régénérées (Abbas, 2013 ; FAO, 2007). Les principales subéraies algériennes sont localisées de façon presque continue dans le Tell oriental, essentiellement en zones humides et sub-humides du nord-est jusqu'à la frontière tunisienne (Zeraia, 1981). Notons que dans le Tell occidental, les forêts de chêne liège sont morcelées en quelques stations isolées et de petite superficie.

À l'heure actuelle, les subéraies sont l'objet de dépérissement et de dégradation continue qui suscitent de vives inquiétudes. Malgré les nombreuses études réalisées au sujet du déclin généralisé au niveau des subéraies, les causes réelles restent méconnues (Aronson et al. 2009). Les dommages apparents résultent des effets des actions humaines à travers les incendies répétés, les défrichements à des fins agricoles ou de construction, le surpâturage, l'écimage et la coupe illicite de bois. Ces agressions sont aggravées par le stress hydrique dû aux sécheresses récurrentes, par les mauvaises pratiques d'exploitation du liège et par le manque de gestion sylvicole raisonnée en faveur de cette importante espèce en matière d'aménagement et de récupération post-incendie. En conséquence, on observe beaucoup de peuplements vieillissants et dépéris progressivement, pour laisser place à des forêts clairsemées ou maquis à chêne liège plus au moins dégradés avec une régénération naturelle déficiente. La dégradation des subéraies et leur abandon a favorisé le développement d'un maquis dense et inflammable augmentant leur vulnérabilité aux incendies et les a également exposées au phénomène d'enrésinement par des espèces à haut pouvoir d'expansion comme le pin maritime (*Pinus pinaster*) et le pin d'Alep (*Pinus halepensis*).

En plus des préjudices écologiques et environnementaux engendrés, la régression de la subéraie algérienne a comme conséquence directe, la régression du capital subéricole et de la production de liège. Les possibilités nationales de production de liège de 15 000 t/an en 1980 se sont réduites pour atteindre une moyenne de 12 000 t/an aux années 1990 (FAO, 2000) et à près de 6 500 t/an à partir des années 2000 (DGF, 2016). Ces chiffres placent l'Algérie au troisième rang des producteurs de liège avec 7 % de la production mondiale, loin derrière le Portugal (57 %) et l'Espagne (23 %). Cette situation a mis plusieurs unités de transformation en difficulté d'approvisionnement notamment en liège de qualité (liège bouchonnable) dans une filière économique qui connaît de nombreux problèmes.

À la suite des travaux de référence sur le chêne liège (Lamey, 1893 ; Camus, 1934 ; Saccardy, 1938 ; Boudy, 1952 ; Natividade, 1956) et plus récemment l'ouvrage édité par Yessad (1999), la diminution du capital subéricole au fil du temps a suscité plusieurs études sur la subéraie algérienne et ses problèmes. Les travaux relatifs à la régénération naturelle et assistée dans différentes forêts de chêne liège sont nombreux (Djinit, 1977 ; Aouka, 1980 ; Zeraia, 1981 ; Alili, 1983 ; Messaoudene, 1984 ; Zair, 1989 ; Bennadja, 1993 ; Djouahir et Metna, 1994 ; Hachachena, 1995 ; Merouani, 1996 ; Younsi, 2002 ; Djaoud, 2004 ; Belkhodja, 2015). En soulignant l'état de dégradation avancé constaté dans la plupart des forêts étudiées, ces études

préconisaient le recours à la régénération artificielle pour pallier la déficience de la régénération naturelle.

Le chêne liège, longtemps négligé dans les différents plans de développement qu'a connu la forêt algérienne depuis l'indépendance, a pris de plus en plus de place dans les reboisements en Algérie. Ainsi, le plan national de reboisement (PNR) lancé au début des années 2000 prévoyait une superficie de 160 000 ha à reboiser en chêne liège sur vingt ans, soit 24 % de la superficie totale des 1 246 909 ha programmés (DGF, 1999). Malheureusement, face au manque d'expérience et de recherches sur l'élevage de plants de chêne liège en pépinière, il n'a pas été possible pour les pépinières existantes de satisfaire les besoins en plants de qualité avec une moyenne annuelle de 8000 hectares à reboiser dans le cadre du PNR.

En effet, vu les dégâts systématiques occasionnés aux glands semés par les rongeurs pâturant en forêt, les reboisements en chêne liège se faisaient par transplantation de plants en conteneur élevés en pépinière au lieu de semis direct de glands plus rapide et plus économique. À l'instar d'autres chênes méditerranéens (Tsakalimi et al. 2009), les multiples tentatives de régénération de chêne liège par transplantation, dans le cadre des projets de reboisement, se sont soldées par des échecs importants. En plus des rudes conditions de survie sous climat méditerranéen, des techniques de plantation inappropriées et du manque d'entretiens post-plantation, la qualité des plants, tributaire des conditions de leur production, conditionne pour beaucoup la reprise et la survie des plants après transplantation. En effet, en plus de la qualité génétique, les conditions d'élevage en pépinière influent directement sur la qualité des plants et leur performance sur le terrain (Landis et al. 1990 ; Branco et al. 2002 ; Villar-Salvador et al. 2004).

Pour les plants de chêne liège, développant en premier un long pivot, l'élevage en sachets de polyéthylène posés au sol induit des déformations racinaires rédhibitoires de type chignon à l'origine d'échecs importants après plantation. Les racines déformées au fond du sachet s'étranglent sur elles-mêmes et avec le temps causent la mort des arbustes quelques années suivant la plantation. L'échec des plantations de chêne liège, bien qu'attribuable à plusieurs causes, est souvent le résultat de l'utilisation de plants avec des racines déformées souvent observé sur les jeunes sujets de chêne liège dépéris après quelques années de leur mise en terre. Ce n'est qu'avec la confection du conteneur anti-chignon de type WM (Reidacker,

1978) associé à la technique de production sur châssis surélevés que le problème de chignon a été réglé.

En effet, ce type de conteneur sans fond, composé de deux parties en plastique rigide, emboîtables et à angles dièdres, oblige les racines à croître vers le fond du conteneur et s'arrêter au contact de l'air. Empoté avec un substrat convenable à ce nouveau système d'élevage, le cernage aérien du pivot permet le développement d'un chevelu racinaire abondant et bien garni en boutons racinaires (De Champs, 1978 ; Fiorino et al. 1998). Un plant avec un système racinaire bien formé et bien garni en racines fines aura une plus grande surface de contact avec le sol, une meilleure absorption d'eau et d'éléments nutritifs, et aura donc plus de potentiel face au choc de transplantation et de meilleures chances de survie et de croissance (Schultz et Thompson 1997 ; Grossnickle, 2005).

Toutefois, malgré les améliorations apportées par le système de production de plants en surélevé, la qualité des plants de chêne liège élevés dans nos pépinières reste encore affectée par plusieurs problèmes. Ils se situent à plusieurs niveaux, de la semence jusqu'au plant, et sont la conséquence au manque de recherches appliquées à l'élevage de plants de cette espèce en pépinière. L'itinéraire technique permettant de produire des plants de qualité demeure encore très peu documenté. La première difficulté à laquelle sont confrontées les pépiniéristes est la disponibilité en glands en raison de l'irrégularité des glandées du chêne liège et la non-maitrise des conditions de conservation des glands. En plus du caractère purement quantitatif que revêt cet aspect et en attendant de l'application d'une réglementation de la récolte et de l'utilisation des semences forestières, il n'y a pas de recherches sur les conditions optimales de conservation des semences récalcitrantes de cette espèce mis à part les travaux de Merouani et al. (2001). Jusqu'à présent, la conservation des glands se fait généralement sans traitement ni pré-conditionnement en sacs de polyéthylène ou à maille tissée entreposés en enceinte frigorifique à des températures peu favorables à une bonne conservation. De cette façon, au bout des deux premiers mois, la majorité des glands sont inutilisables ; ils sont soit attaqués par des champignons, déshydratés ou germés. Ainsi, pour avoir un nombre suffisant de glands au moment du semis en pépinière, des quantités énormes de glands sont ramassées et mises en conservation. Il faut prévoir au moins 5 fois la quantité recherchée, ce qui est préjudiciable pour la préservation et la gestion durable de la subéraie.

La qualité du support d'élevage constitue l'une des contraintes majeures de la filière de production de plants forestiers en Algérie. En absence de standard, les plants sont élevés en substrats constitués généralement de terre disponible sur place et rarement en mélange terre et terreau ou sable. Notons que les proportions sont variables d'une pépinière à l'autre pour la même espèce. Ainsi, lors des opérations d'agrégage de plants nous constatons généralement des plants très mal développés en raison d'un mauvais choix des matériaux de base et de leurs proportions dans les substrats d'élevage utilisés.

Cette constatation impose un choix judicieux de substrat permettant de satisfaire les besoins de croissance des plants en pépinière. En effet, la capacité d'un substrat d'élevage pour le stockage de l'eau, de l'air et des éléments nutritifs et la facilité avec laquelle sont restitués aux semis sont déterminantes pour leur bonne croissance et développement (Allaire et al. 1996). Ce sont la nature et les proportions des matériaux utilisés qui conditionnent les propriétés physiques et chimiques des substrats confectionnés (Wilson et al. 2001 ; Sahin et al. 2005). Vu qu'un seul matériau ne peut satisfaire tous les besoins de croissance des plants (eau, air, éléments nutritifs), les recherches en matière de substrat d'élevage ont pour but de trouver les meilleures combinaisons de matériaux ayant une stabilité suffisante, des propriétés complémentaires, indemnes de pathogènes, disponibles localement en quantité suffisante et renouvelable et ne présentant pas de risques environnementaux liés à leur utilisation.

Parmi les caractéristiques fondamentales requises pour les substrats destinés à la technique de production en surélevé, la rétention en eau joue un rôle déterminant. Dans ce contexte les travaux de Benamirouche et Dernane (1999) et Djellabi et al. (2004) ont montré que les tourbes sont des matériaux pouvant jouer correctement ce rôle. Cependant, leur emploi à grande échelle ne peut pas être envisagé en raison des coûts élevés en devises pour les tourbes importées et la fragilité des lieux d'extraction des tourbes locales (complexes des zones humides d'El-Kala et de Guerbès-Sanhadja). À la recherche de matériaux de substitution à la tourbe, plusieurs pays ont eu recours au compost de déchets verts et urbains (boues, déchets ménagers fermentescibles). Ainsi, eu égard à ces valeurs agronomiques (rétention en eau, pouvoir amendant, indemne de pathogènes et d'adventices), environnementales (réduction des émissions de gaz par incinération des déchets, restitution de la matière organique) et économiques (rentabilité et facilité de commercialisation), de grandes quantités de composts sont produites chaque années et commercialisées à des fins agronomiques et horticoles.

En Suisse par exemple, le compostage a connu un grand essor et a triplé, passant de 200 000 tonnes en 1985 à 740 000 tonnes en 2003 (Larbi, 2006). Malheureusement, en Algérie, cette filière prometteuse n'a pas suscité d'intérêt dans nos pépinières et les travaux de recherche sur la valorisation agronomique et horticole par compostage des résidus végétaux sont rares.

Par ailleurs, malgré les efforts consentis ces dernières années en vue de la modernisation progressive des pépinières, notamment en matière d'équipements, la non-maitrise de certains facteurs cultureux affecte toujours la qualité des plants de chêne liège comme les déformations rédhibitoires des racines (nœud et crosse au collet). Plusieurs études ont montré que la réussite des plants sur le terrain est fortement conditionnée par la conformation de leurs systèmes racinaires et de leurs potentiels à régénérer rapidement de nouvelles racines à l'extérieure des mottes formées en pépinière (Leaf et al. 1978 ; Burdett et al. 1983 ; Kromanik, 1988 ; Tsakalimi et al. 2012). Dans ce contexte, les travaux de recherche de Chouial et Benamirouche (2016) ont montré l'effet direct des modalités de semis de glands sur les déformations racinaires des plants. Ils ont également mis en exergue l'effet de la longueur de la radicule lors du semis sur les déformations racinaires des plants, et qui reste encore à étudier. De plus, lors des opérations d'agrèage, une hétérogénéité des lots de plants est souvent constatée, ceci complique d'avantage cette opération essentiellement basée sur la taille des plants. En effet, malgré une conduite d'élevage relativement homogène (substrat, irrigation automatisée, ombrage uniforme), les plants d'une même planche sont de taille variable. En l'absence de tout compartimentage en pépinière garantissant la traçabilité du matériel végétal, la non-homogénéité de la taille des plants laisse penser à un éventuel impact de la taille et du poids du gland sur la taille et la qualité du plant.

Ces insuffisances et certainement d'autres font clairement apparaître que l'itinéraire d'élevage de plants de chêne liège de la semence jusqu'au plant n'est pas encore bien élucidé. Cette situation qui perdure a fait qu'une partie importante de plants produits chaque année comporte des anomalies diverses en matière de taille et de qualité. Les opérations d'agrèage effectuées pour les pépinières publiques et privées de la Mitidja (Wilayas d'Alger Tipaza, Boumerdès et Bilda) durant la période allant de 2008 à 2019 ont montré que 80 % de plants de chêne liège sont non conformes au reboisement (Chebouti et al. 2020). C'est dans ce contexte que la présente thèse est proposée à la recherche de solutions pouvant contribuer à la production de plants de chêne liège de qualité avec un meilleur potentiel de reprise et de survie sur le terrain.

Bien que la reprise et la survie après transplantation soient les meilleurs révélateurs de la qualité de plants, plusieurs attributs morphologiques, physiologiques et de performance ont été utilisés pour juger la qualité des plants en pépinière et prédire leur performance post-plantation (Grossnickle et MacDonald, 2018). Les principaux attributs utilisés sont la hauteur, le diamètre au collet, le ratio de robustesse hauteur-diamètre, le ratio des poids secs tige-racine, la conformation du système racinaire, le nombre de racines secondaires, la capacité de régénération racinaire, la capacité photosynthétique et le test de tolérance au stress hydrique.

Toutefois, vu les difficultés liées à l'installation, à la protection et au suivi des parcelles expérimentales et celles liées à l'évaluation physiologique des plants en pépinière, nous nous sommes limités dans nos travaux à la phase pépinière. Ainsi, nos investigations ont porté sur l'étude des attributs morphologiques et physiologiques des parties aériennes et racinaires, facilement mesurables en pépinière mais essentiels à l'évaluation de la qualité des plants et la prédiction de leur performance post-plantation comme préconisé par des travaux similaires (Duryea, 1984 ; Thompson, 1991 ; Dey et Parker, 1997 ; Tsakalidimi et al. 2012).

Les recherches menées dans le cadre de cette thèse se sont déroulées au niveau de la pépinière de la station régionale de recherche forestière de Jijel. Les objectifs visés concernent l'amélioration de la qualité des plants de chêne liège élevés en pépinière à travers les aspects suivants :

- 1) Rechercher les meilleures conditions permettant une longue durée de conservation de glands;
- 2) Evaluer l'effet d'utilisation de compost sur la qualité de plants et leur performance après plantation ;
- 3) Vérifier le lien pouvant exister entre le poids de glands, la taille et la qualité de plants ;
- 4) Vérifier l'incidence de certains modes de semis de glands et du volume du conteneur sur les déformations racinaires observées en pépinière.

Pour répondre aux objectifs énoncés ci-dessus et formuler des recommandations permettant l'amélioration de la qualité des plants et leur performance après transplantation, le travail effectué pour cette thèse est structuré en six chapitres. Le premier chapitre concerne la présente introduction générale où ont été présentés le contexte et la problématique des expérimentations réalisées à la station de recherche forestière de Jijel. Le corps de cette thèse est constitué d'un chapitre dédié à la présentation de l'espèce, suivi de quatre chapitres sous

forme d'articles publiés en revues internationales. Ces articles, dont un rédigé en français et trois rédigés en anglais, présentent les résultats des différentes recherches développées dans le cadre de cette thèse. Le dernier chapitre est une conclusion générale qui résume les principaux résultats obtenus au cours des différentes recherches et propose en guise de perspectives des solutions pratiques et reproductibles au niveau des pépinières en charge de satisfaire les besoins en plants destinés aux reboisements en chêne liège.

CHAPITRE 1

LE CHÊNE LIÈGE: DESCRIPTION, ECOLOGIE ET RÉGÉNÉRATION

I.1. CARACTÈRES GÉNÉRAUX

I. 1.1 Position taxonomique

Le chêne liège en français, Fernan ou Balout El felline en arabe, Alcornoque en Espagnol et Sughara en Italien, a été décrit pour la première fois par Linné en 1753 (Natividade, 1956). Il est polymorphe et présente de grandes variations de forme et de caractères botaniques permettant de distinguer plusieurs races (chêne liège numidien, atlantique, occidental...) (Boudy, 1952). À sa facilité d'hybridation avec d'autres chênes méditerranéens voisins comme *Quercus afares* deux hybrides fertiles peuvent être cités : *Quercus x numidica* Trabut et *Quercus x kabylica* Trabut (Saccardy, 1938).

C'est une essence feuillue appartenant à la famille des Fagacées avec 670 espèces dont font partie 530 arbres producteurs de glands comme le chêne vert, le chêne zen et le chêne afares (Dupont et Guignard, 2015). D'une manière générale, le chêne liège est présenté par la classification suivante :

Embranchement : Spermaphytes
Sous embranchement : Angiospermes
Classe : Dicotylédones ou Magnoliapsidaeae
Ordre : Fagales
Famille : Fagaceae
Genre : *Quercus*
Espèce : *Quercus suber* L.

I.1.2. Caractères généraux de l'arbre

I.1.2.1 Allure, dimensions et longévité

Le chêne liège présente un port irrégulier et variable en fonction de la densité du peuplement. En peuplement plus au moins dense il présente une forme élancée (Figure 1.1), alors qu'à l'état isolé et en peuplement à faible densité, il a un tronc relativement court, ramifié à une faible hauteur en grosses branches et son houppier est largement étalé (Figure 1.2).

Même si des spécimens de dimensions remarquables sont signalés, la taille moyenne est de 10 à 11 mètres (Saccardy, 1938) ; une hauteur de 25 m est signalée en Italie (Cantat et Piazzetta, 2000) et un maximum de 27 m a été observé à Collo en Algérie (Yessad, 1999). Sur le plan grosseur, il peut atteindre jusqu'à 5 mètres de circonférence à 1,30 m en station favorable (Zeraia, 1971). A l'état naturel, le chêne liège peut vivre jusqu'à 300 ans (Natividade, 1956). Par contre lorsqu'il est exploité et sous l'effet des incendies et des diverses mutilations

anthropiques, la durée de vie de l'arbre oscille entre 150 et 200 ans (Cantat et Piazzetta, 2005).

I.1.2.2. Feuilles

Les feuilles sont coriaces, de forme ovale et légèrement dentées à pointes aigues. Leur face inférieure est de couleur blanchâtre, la face supérieure est plutôt glabre et d'un vert bronzé brillant (Figure 1.3). Elles mesurent 4 à 10 cm de long sur 2 à 6 cm de large. A l'exception des arbres de la race marocaine qui restent dépouillées des feuilles deux semaines environs au printemps (Boudy, 1952), les feuilles du chêne liège persistent plus d'une année et ne tombent pas en même temps ce qui donne au feuillage l'aspect persistant.

I.1.2.3. Bourgeons

Ils sont de forme ovoïde et protégés par des bractées tomenteuses plus développées dans les parties terminales. L'allongement des bourgeons est dépendant des facteurs microclimatiques environnants. Cet allongement dure par exemple un mois dans les Maures (France) alors qu'en Algérie il s'étale sur cinq mois environ (Zeraia, 1981).

I.1.2.4. Inflorescences

Le chêne liège est monoïque et allogame ; les fleurs mâles pendent en châtons de 4 à 8 cm de long à l'extrémité des rameaux de l'année précédente et les fleurs femelles sont de petits boutons écailleux qui se forment à la base des rameaux de l'année en cours (Figure 1.4). De type essentiellement annuel, la floraison et la fécondation ont lieu au printemps d'avril à mai. Toutefois, il existe un taxon à cycle de maturation biennal, *Quercus suber* subsp. *occidentalis* pour certains auteurs, à floraison hivernale avec des représentants signalés en France (Région des Landes), en Italie, en Algérie, au Portugal et au Maroc (Díaz-Fernández, 2000 ; Bellarosa, 2000).

I.1.2.5. Glands

La fécondation donne naissance à un fruit, enchâssé dans une cupule écailleuse, appelé gland, de forme et de dimensions très variables suivant les arbres (Figure 1.5). La maturation des glands a lieu dans l'année de floraison à la fin de l'automne et la chute des glands s'échelonne jusqu'à janvier dans les subéraies d'altitude et lors des années de bonne glandée. La fructification débute vers l'âge de 15 ans en peuplement issue d'une régénération naturelle (Bellarosa, 2000) ou d'une régénération artificielle par transplantation (*Obs. pers.*).

Elle devient abondante à partir de 30 ans jusqu'à 100 ans et cela tous les 2 à 3 ans environs (Stewart, 1974). Les bonnes glandées épuisent les réserves de l'arbre ce qui explique leur répartition à 2 ou 3 ans d'intervalle. En fonction de l'âge de l'arbre, de sa vigueur et des conditions écologiques, la production de glands par arbre varie de 1 à quelques dizaines de kilogrammes jusqu'à 60 kg (Yessad, 1999).

Malgré leur gout ordinairement amer, à l'exception de la variété *dulcis* Trab. (Saccardy, 1938), les glands de chêne liège sont très recherchés par les animaux sauvages (sanglier, petits rongeurs), oiseaux et insectes ainsi que par l'Homme et ses animaux domestiques (bovins, ovins et caprins). Aussi, il est aisé de constater que la quantité de glands intacts laissée sur place est insuffisante pour assurer la régénération naturelle de l'espèce.

I.1.2.6. Enracinement

Dès son jeune âge, l'arbre développe un enracinement pivotant lui permettant d'atteindre rapidement les horizons profonds du sol ce qui constitue une bonne adaptation à la sécheresse. Le chêne liège est fortement enraciné, son enracinement est caractérisé par de longues racines fixant l'arbre solidement, même dans les sites les plus rocheux, jusqu'à 20 m de profondeur (Sauvage, 1961). Les racines superficielles ont l'aptitude de former des drageons et peuvent s'associer avec divers champignons ectomycorhiziens (Ortega et Lorite, 2007). Dans ce contexte, nous avons pu observer et mettre en évidence l'association mycorhizienne chêne liège-*Lactarius sp* au niveau de la forêt de Kissir à Jijel (*Données non publiées*).

I.1.2.7. Bois

Sur le plan anatomique, le bois du chêne liège est largement maillé avec un aubier épais et un parenchyme très abondant. Ce bois est dur, lourd et compact, difficile à travailler et se fend en séchant comme tous les bois feuillus nord africains (Boudy, 1952). Toutefois, il peut être utilisé pour les traverses, le charbon de bois et le chauffage (Stewart, 1974).

I.1.2.8. Ecorce

L'écorce du chêne liège prend l'aspect liégeux vers 5 à 6 ans (Figure 1.6). Il s'agit d'une couche de couleur grisâtre, peu dense et avec de nombreuses et profondes crevasses le long du tronc, composée essentiellement de cellules mortes et creuses générées par l'assise subéro-phellodermique. Un cm³ de matière liège contient 40 millions de cellules (Corkup, 2019). Sur un arbre jamais écorcé, elle est de couleur grisâtre, peu dense, fortement crevassée et appelée

"liège mâle" utilisé principalement en trituration. En conditions favorables au chêne liège, le liège mâle peut atteindre 30 mm d'épaisseur sur un arbre âgé de 20 ans (Figure 1.7). Après sa mise en valeur par démasclage, le liège mâle est remplacé par le liège de reproduction ou "liège femelle", plus homogène et ayant plus de valeur économique. Les arbres sont mis en valeur par démasclage lorsqu'ils atteignent une circonférence de 70 cm soit à partir de 35 ans d'âge en moyenne. Par la suite, le liège est exploité tous les 9 à 12 ans à une hauteur calculée en multipliant la circonférence de l'arbre par un coefficient variable en fonction de la fertilité stationnelle. Ces deux opérations de démasclage et de déliégage sont effectuées durant la période de montée de sève entre mai et août par des leveurs qualifiés afin de ne pas abîmer les troncs des arbres exploités. En termes de relation productivité-station, on estime que la production subéreuse est plus importante dans le groupement à *Quercus suber* et *Cytisus triflorus* que dans les autres groupements (El Afssa, 1978 ; Zeraia, 1981).

Le liège est un matériau naturel et renouvelable, ces propriétés physiques (légèreté, élasticité, imperméabilité aux liquides et aux gaz) lui permettent de nombreuses utilisations notamment en bouchonnerie qui constitue le débouché essentiel du liège de qualité. Les lièges rebus et de moindre qualité sont à la base de plusieurs industries de transformation procurant divers produits comme les panneaux de liège aggloméré, le liège expansé pur comme isolant phonique et thermique idéal, le laminé de liège utilisé en maroquinerie et pour le revêtement de chaussures, de tissus et divers autres articles. Les tissus riches en subérine gardent leur stabilité chimique et ne pourrissent pas permettant au liège d'être utilisé pour le conditionnement sain des aliments (Gibson et Ashby, 1997).

En plus de son intérêt économique, le liège participe à la séquestration du carbone : pour chaque kg de liège récolté, 50 kg de CO₂ sont absorbés et stockés (Corkup, 2019). Il protège efficacement les arbres contre les pathogènes mais surtout contre les incendies leur permettant de survivre après passage du feu. En effet, sur des arbres entièrement brûlés, la végétation repart dès les premières pluies d'automne. Ainsi voit-on des chênes lièges conserver leur vitalité, malgré le passage de trois incendies en vingt ans dans le même canton (Dugelay, 1951). Toutefois, l'incendie constitue une fatalité pour les arbres fraîchement déliégés (Figure 1.8) ou couverts d'un liège encore mince. Malheureusement, les incendies surviennent en période de récolte de liège et occasionnent d'énormes pertes sur les arbres déliégés et sur la qualité de liège.



Figure 1.1: Peuplement de chêne liège.



Figure 1.2: Allure d'un arbre isolé.



Figure 1.3: Rameau de l'année avec feuilles.



Figure 1.4: Inflorescences au mois d'avril.



Figure 1.5: Glands mûrs de forme et de dimensions variables.



Figure 1.6: Arbuste de 6 ans avec écorce différenciée en liège mâle.



Figure 1.7: Coupe transversale du tronc d'un arbre de 20 ans issue d'une régénération par transplantation. Le liège mâle a atteint déjà 30 mm d'épaisseur.



Figure 1.8: Arbres fraîchement déliégés.

I.2. EXIGENCES ÉCOLOGIQUES

I.2.1. Exigences climatiques

Le chêne liège est une essence forestière qui pousse dans les zones à climat tempéré, chaud et humide, méditerranéen et atlantique.

I.2.1.1. Précipitations

Le chêne liège trouve son optimum de développement sous une pluviométrie moyenne annuelle de 500 à 600 mm (Boudy, 1952). Toutefois, il présente une remarquable plasticité vis-à-vis des précipitations ; sa station la plus arrosée (Grazalema en Espagne) reçoit plus de 2000 mm/an alors que la moins arrosée (Algarve au Portugal) reçoit 400 mm/an (Yessad, 1999).

I.2.1.2. Température

C'est une essence relativement thermophile. Elle demande une température moyenne annuelle douce avec un optimum entre 13 et 18°C ; elle ne supporte pas plus de 1 à 2 jours de gelées à -9°C (Boudy, 1952). Des lésions irréversibles apparaissent sur les feuilles en dessous de -5°C (IML, 2000). Pour ces raisons, le chêne liège se cantonne à des distances modérées du littoral (Seigue, 1985).

I.2.1.3. Lumière

Le chêne liège est une essence héliophile. La meilleure glandée et le nombre le plus élevé de semis se manifestent dans les expositions sud et ouest où la lumière et la température sont plus favorables (Aouka, 1980 ; Zeraia, 1981).

I.2.2. Exigences édaphiques

Le chêne liège préfère des sols à pH acide, profonds et bien drainés et ne s'accommode pas aux sols argileux compacts. Il marque nettement sa préférence pour les terrains siliceux tels que les grés numidiens (Algérie et Tunisie) ou les sables Pliocènes (Boudy, 1952). Ainsi, la majorité des subéraies naturelles se trouvent sur sols contenant plus de 50 % de sable dans leurs horizons supérieurs et reposant sur roche mère métamorphique (Yessad, 1999). Sa végétation est également dense sur les terrains azoïques et sur les granits (Saccardy, 1938). Il se montre intolérant à l'hydromorphie, aussi voit-on le dépérissement rapide des arbres en sols engorgés d'eau.

I.2.3. Limite altitudinale et étages bioclimatiques

I.2.3.1. Limite altitudinale

Le chêne liège pousse du bord de la mer jusqu'à plus de 2000 m d'altitude. Toutefois, cette limite altitudinale est fonction des conditions écologiques stationnelles notamment précipitations, température et nature du sol (Bernard, 1926). Le chêne liège ne dépasse guère 1600 m dans l'étage humide (Djebel Tagannte au Maroc), il atteint 2400 m dans l'étage sub-humide (Haut Atlas Marocain), alors qu'il ne s'élève guère au-delà de 800 m dans l'étage semi-aride (El Katouate au Maroc et Benchicao en Algérie) (Sauvage, 1961).

I.2.3.2. Étages bioclimatiques

Selon Boudy (1952), neuf dixièmes des forêts de chêne liège en Algérie et en Tunisie se trouvent dans l'étage humide. En étage sub-humide, sa superficie est réduite en Algérie et en Tunisie alors qu'elle est très importante au Maroc. Pour l'étage semi-aride, sa superficie est très restreinte en Algérie et elle représente les deux tiers des subéraies au Maroc.

I.3. Aire de répartition du chêne liège

Le chêne liège est circonscrit à la région de la Méditerranée occidentale et déborde le long du sud de la façade atlantique (Boudy, 1952 ; Quézel et Santa, 1962). Les influences de la mer et de l'océan permettent d'adoucir la grande amplitude des oscillations thermiques et réduisent la grande aridité de la saison estivale (Natividade, 1956).

Plus précisément, cette essence spontanée de la Méditerranée occidentale et des côtes atlantiques (depuis le Maroc jusqu'au golfe de Gascogne), se développe entre les latitudes 31° et 43° Nord (Saccardy, 1938). Elle forme des subéraies dans la péninsule ibérienne, la côte sud de la France, la côte Tyrrhénienne de la péninsule italienne, en Sardaigne, en Sicile, en Corse, le littoral nord-oriental de l'Algérie, le littoral nord-occidental de la Tunisie et dans la portion nord-ouest de l'Atlas marocain (Figure 1.9).

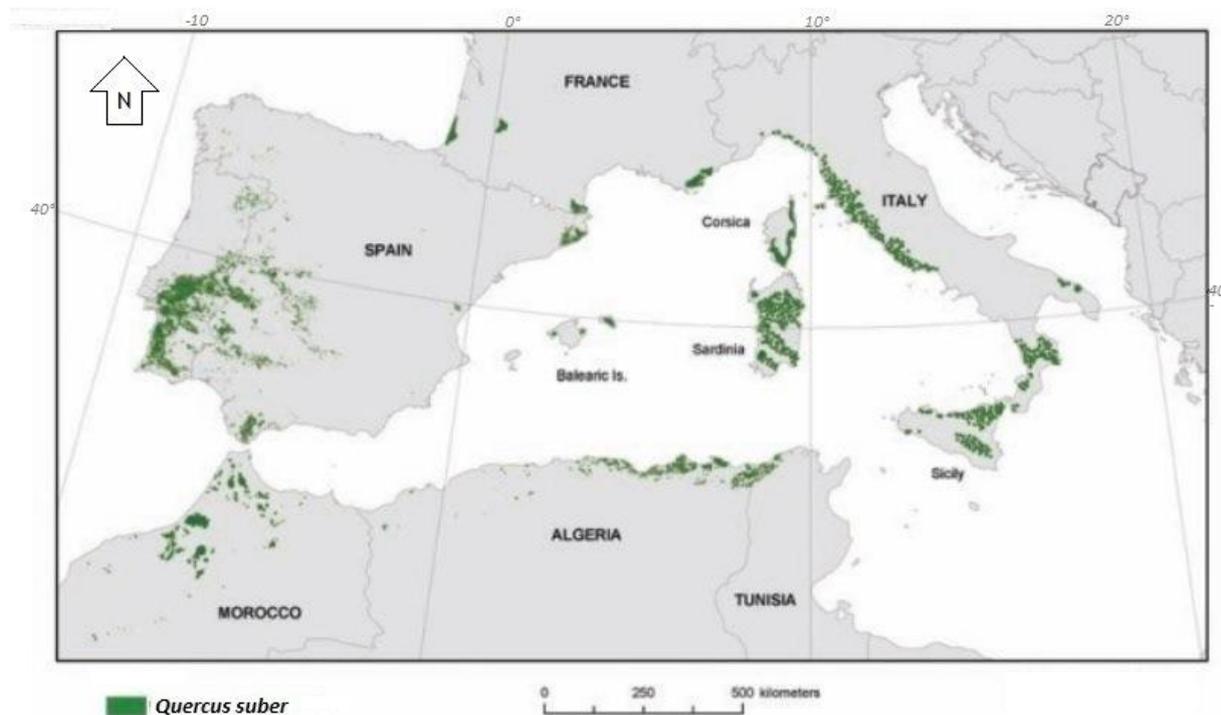


Figure 1.9 : Répartition mondiale approximative du chêne liège selon Bohbot et al. (2005).

Du point de vue superficie, les données les plus récentes estiment une surface globale de 2 139 942 hectares (APCOR, 2018) répartis exclusivement sur sept pays comme le montre le tableau ci-après.

Tableau 1.1 : Evolution des superficies estimées des forêts de chêne liège dans son aire naturelle.

Pays	Superficie (ha)					
	Lamey (1893)	Boudy (1952)	Richard (1987)	Yessad (1999)	APCOR (2012)	APCOR (2018)
Algérie	459 000	429 000	200 000	450 000	390 000	230 000
Espagne	255 000	340 000	330 000	352 000	500 000	574 248
France	148 000	149 000	54 000	56 500	100 000	65 228
Italie	80 000	51 000	70 000	70 000	90 000	64 800
Maroc	/	397 000	300 000	345 000	310 000	383 120
Portugal	300 000	600 000	600 000	605 000	730 000	736 775
Tunisie	116 000	127 000	100 000	90 000	85 000	85 771
Totaux	1 358 000	2 093 000	1 654 000	1 968 500	2 205 000	2 139 942

La lecture des chiffres du tableau 1.1 montre une divergence entre les superficies estimées probablement en raison de la non-homogénéité des définitions adoptées de l'aire potentielle, la subéraie, la forêt de chêne liège ou la présence de chêne liège.

Par ailleurs, on assiste à une nette tendance à la diminution au fil des années de la superficie occupée par le chêne liège en Algérie, en Tunisie, en Italie et en France. La superficie anciennement occupée par le chêne liège en France a connu une régression spectaculaire, soit une diminution de 56 % en un peu plus d'un siècle. À l'inverse, sur la même période, la superficie de chêne liège a connu une augmentation de 145 % au Portugal et 125 % en Espagne. Dans les pays de l'Afrique du Nord, plus particulièrement en Algérie et en Tunisie, cette tendance à la régression est due à la conjugaison de plusieurs facteurs biotiques et abiotiques ayant abouti au fil du temps à la diminution de la superficie occupée par cette espèce.

I.3.1. Essais d'introduction du chêne liège en dehors de son aire naturelle

En raison de l'intérêt porté au matériau liège, de nombreux essais d'introduction du chêne liège en dehors de son aire naturelle, en tant qu'arbre d'ornement et dans un but économique, sont cités dans la littérature. Plusieurs pays ont procédé à des introductions massives à des fins de production de liège comme l'Union Soviétique dès 1819 sur le Littoral de la Mer Noire et les Etats Unies d'Amérique (Californie) dès 1858 (Musset, 1935 ; Natividade, 1956). Des essais plus modestes ont été opérés au Japon, en Argentine, en Uruguay, en Australie et en Afrique du Sud (Natividade, 1956). En Turquie, le premier essai fut réalisé en 1954 à Istanbul en utilisant une race marocaine. Cet essai a connu un échec total en raison des basses températures (-15°C) survenues après la plantation (Neyisci et al, 1988 in Ozalp et Erats, 2001).

D'une manière globale, le devenir des essais d'introduction du chêne liège, réalisés par divers procédés (semis, plantation et greffage sur des chênes indigènes), reste méconnu car très peu documenté. Ce sont surtout des échecs qui sont reportés (William, 2002) ainsi que la faiblesse du rendement et la qualité du liège produit (Musset, 1935 ; Zeraia, 1971 ; CNREF, 1980).

I.3.2. Le chêne liège en Algérie

Yessad (1999) estime que le chêne liège est présent en Algérie sur 450 000 ha mais ne constitue de véritables subéraies que sur près de 150 000 ha.

L'inventaire forestier national (IFN) réalisé en 1984 dans le cadre du plan national pour le développement forestier (PNDF) estime la superficie des forêts de chêne liège à 228 900 ha soit 20,30 % de la superficie forestière nationale estimée à 1 127 700 hectares (Tableau 1.2).

Malgré les divergences entre les chiffres, l'aire du chêne liège en Algérie est en régression continue sous les effets conjugués des actions anthropiques (incendies répétés et défrichements à des fins pastorales, agricoles ou d'urbanisation) et du manque de gestion adaptée à l'espèce. Par ailleurs, Zeraia (1981) estime, que les reboisements de facilité de *Pinus halepensis* et d'*Eucalyptus sp.* ont été privilégiés au détriment du chêne liège.

Tableau 1.2: Répartition des superficies de chêne liège par région et par wilaya.

Région Est		Région Ouest			
Wilaya	Superficie (ha)	Wilaya	Superficie (ha)	Wilaya	Superficie (ha)
Skikda	55 400	Tizi Ouzou	12 500	Chlef	3 700
Jijel	50 400	Blida	3 600	Tlemcen	2 100
Guelma	47 400	Bouira	2 100	Tiaret	1 000
Annaba-El Tarf	36 000	Alger	500	Mostaganem	600
Bejaia	11 400	Médéa	300	Oran	200
Sétif	1 400			Mascara	100
Constantine	200				
S/Total	202 200	S/Total	19 000	S/Total	7 700
Total	228 900 ha				

Source : Données IFN (1984) citées dans FAO (2000).

Les données du tableau 1.2 et de la carte (Figure 1.10) montrent que le chêne liège est essentiellement concentré dans la région Nord-Est du pays avec 88,33%. Il s'étend de l'algérois à la frontière tunisienne où les conditions écologiques et de production sont plus favorables. Dans cette région, les forêts de chêne liège s'étendent de façon presque continue de la mer jusqu'à 1200 m d'altitude (Zeraia, 1981). Ailleurs, Tlemcen, Oran, Mostaganem, Mascara, Chlef, Tissemsilt, le chêne liège est présent en stations généralement isolées et de superficie réduite et constituent des originalités écologiques à préserver.



Figure 1.10 : Aire de répartition naturelle du chêne liège en Algérie (Mezali, 2003).

I.4. Cortège floristique et associations du chêne liège

Le chêne liège est une espèce typique de la végétation méditerranéenne et se retrouve en mélange avec des arbres telles que *Quercus faginea*, *Castanea sativa*, une multitude d'arbustes et de buissons bas comme *Arbutus unedo*, *Erica arborea*, *Quercus coccifera*, *Myrtus communis*, *Phillyrea media*, *Pistacia lentiscus*, *Viburnum tinus*, *Cistus sp*, *Rosmarinus officinalis* et une flore herbacée comme *Pulicaria odora*, *Coleostephus myconis*, *Bellis annua*, *Biscutella didyma* ou encore une flore lichénique comme *Ivernia prunastria*.

Les phytosociologues distinguent diverses associations de chêne liège qui forment l'alliance du *Quercion suberis*. En Algérie, on distingue deux faciès de l'association à *Quercus suber* (Saccardy, 1938). Sur le littoral et les basses altitudes, l'association se distingue par un faciès à *Myrtus communis* où la strate frutescente est très développée comprenant notamment *Myrtus communis*, *Erica arborea*, *Arbutus unedo*, *Phillyrea media*, *Pistacia lentiscus*, *Rhamnus alternus*, *Rubus ulmifolius*, *Viburnum tinus*, *Calicotome spinosa*, *Quercus coccifera*, *Cistus sp*. À ce cortège s'ajoute de nombreuses lianes comme *Smilax aspera*, *Hedera helix*, *Rubia peregrina*, *Clematis flammula* et *Lonicera implexa*. Aux tranches altitudinales supérieures, c'est le faciès à *Cytisus villosus* qui domine avec une strate frutescente plus réduite comprenant entre autres *Cytisus villosus*, *Erica arborea*, *Calicotome spinosa*, *Genista tricuspidata* et *Crataegus monogyna*. Les lianes sont moins importantes avec essentiellement *Rubia peregrina*, *Lonicera implexa* et *Rosa sempervirens*.

La dégradation de l'association du chêne liège, sous l'effet notamment des incendies répétés et du surpâturage, aboutit à des maquis où dominent *Cistus monspeliensis*, *Chamaerops humilis* et *Ampelodesmos mauretanicus*.

Du point de vue compétition, le chêne liège est supplanté par le chêne zeen (*Quercus faginea*) dans les stations élevées, humides et froides, par le chêne vert (*Quercus ilex*) et le pin d'Alep (*Pinus halepensis*) sur les sols calcaires et par le pin maritime (*Pinus pinaster*) sur les grés en bord de mer. Dans les fonds de vallons humides et ombragés, il cède la place aux ripisylves à aulne glutineux (*Alnus glutinosa*).

I.5. Dépérissement et problèmes pathologiques

Eu égard à leurs multi-usages, les forêts de chêne liège ont été fortement sollicitées au fil du temps. Malheureusement, la pression et la surexploitation exercées sur cette ressource naturelle, à travers le surpâturage, les écimages, les défrichements et les incendies, ont considérablement affecté la résilience de ces forêts. En plus de cette pression permanente, les arbres sont affaiblis par une gestion forestière insuffisante et inappropriée, caractérisée par un manque d'aménagement des subéraies et de technicité dans les travaux d'exploitation de liège suite à une raréfaction marquée de la main d'œuvre qualifiée ou formée à ce métier. Ainsi, les blessures occasionnées par un mauvais écorçage (déliégeage ou démasclage), créant des portes d'entrées aux insectes xylophages et aux champignons pathogènes, est un constat fréquent dans les subéraies exploitées. Les blessures profondes et mal cicatrisées pourrissent et se transforment en cavités atteignant le cœur de l'arbre qui ne survit pas aux diverses pressions abiotiques et biotiques. Dans les peuplements où les arbres sont fraîchement exploités les dégâts provoqués par les incendies sont dramatiques. Ainsi, les incendies répétés constituent sans contredit une menace permanente pour la pérennité des forêts de chêne liège dont la résistance au feu est étroitement liée à la présence et l'épaisseur du liège.

La conjugaison de ces mauvaises pratiques avec l'action des changements climatiques affaiblit les arbres, diminue leurs performances face aux incendies et les prédispose aux attaques de pathogènes. Actuellement, beaucoup d'arbres et de peuplements de chêne liège sont en dépérissement continu. Les conséquences du dépérissement des subéraies sont une baisse de la qualité et de la quantité du liège produit, voire la raréfaction de l'espèce (Poulet, 2006). La figure 1.11 illustre l'influence et la conjugaison des paramètres biotiques et abiotiques sur le dépérissement.

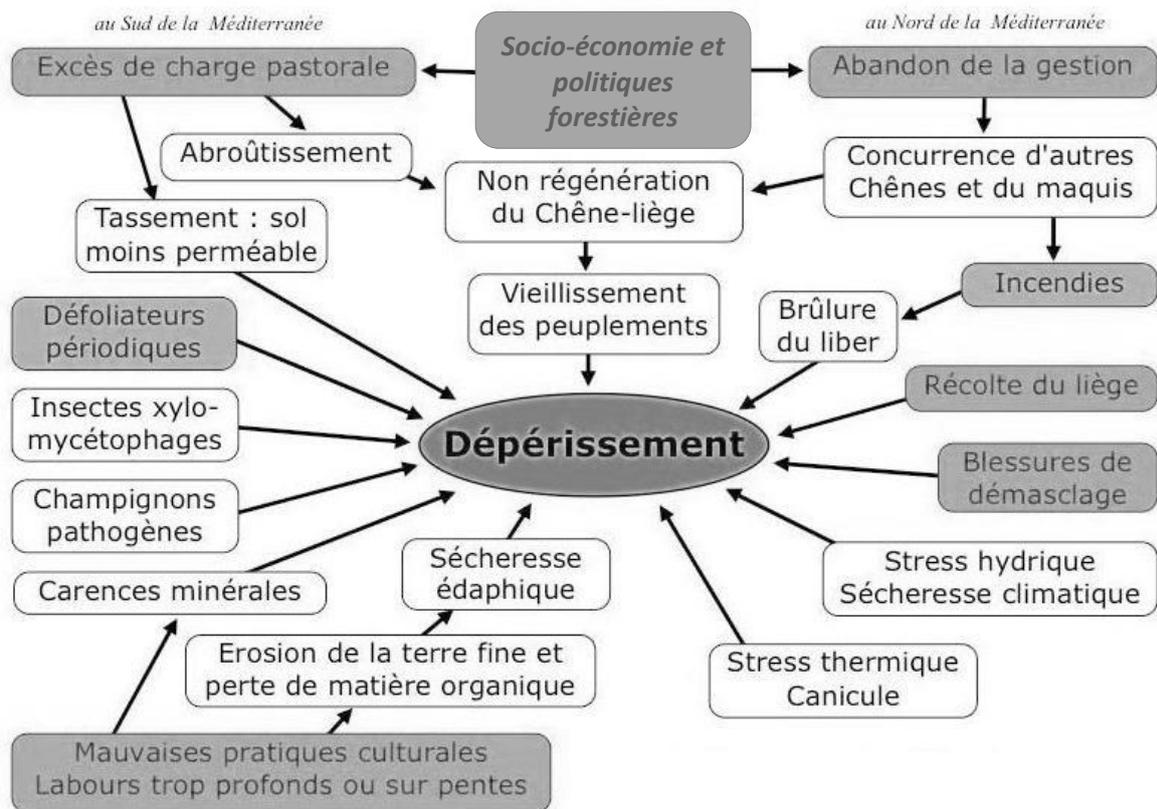


Figure 1.11 : Principaux facteurs biotiques et abiotiques agissant sur le dépérissement du chêne liège (Amandier, 2006).

En Algérie, le dépérissement au niveau des subéraies a été signalé au début des années 2000 (Messaoudene, 2000 ; Bouhraoua et al. 2002). Les principaux ravageurs du chêne liège sont le défoliateur *Lymantria dispar* (Lepidoptère, Lymantriidae) et le xylophage *Platypus cylindrus* (Coléoptère, Platypodidae). Parmi les altérations alarmantes de l'état sanitaire des peuplements de chêne liège, nous avons observé ces dernières années la prolifération du charbon de la mère (*Hypoxylon mediterraneum*). Des dommages importants sont constatés dans quelques peuplements naturels et issus d'une régénération artificielle de chêne liège dans la wilaya de Jijel (Figures 1.12 et 1.13). Ces attaques constituent une menace réelle pour le chêne liège et méritent une prise en charge urgente afin de définir le ou les facteurs à l'origine de la prolifération de ce redoutable pathogène considéré pendant longtemps comme un pathogène de faiblesse (Malençon et Marion, 1951) mais semble devenir un ravageur primaire attaquant les sujets paraissant sains.



Figure 1.12 : Dépérissement du chêne liège (Canton Chahna, FD Beni Afer, 2017). Le dépérissement se présente en tâches. Les feuilles sèchent sur les arbres sans tomber.

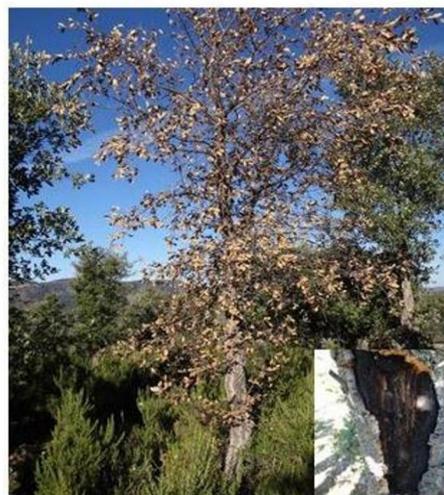


Figure 1.13 : Dépérissement du chêne liège (FD Beni Fiteh, 2016). Dessèchement du feuillage et éclatement de l'écorce laissent voir la carbonisation de la mère et le bois.

I.6. Régénération du chêne liège

Le chêne liège peut se multiplier aussi bien par voie séminale grâce aux glands et par voie végétative selon divers procédés. Le chêne liège drageonne sur des racines superficielles ayant subi un traumatisme (Richard, 1987 ; Bellefontaine et Monteuis, 2002). Il peut être aussi marcotté par divers procédés, greffé sur d'autres chênes (Natividade, 1956) et même cultivé *in vitro* à partir d'embryons et de bourgeons (Larbi et al. 2013). Des essais de culture *in vitro* par organogenèse et embryogenèse somatique ont été réalisés mais le pourcentage de plants adultes régénérés est faible (El Kbiach et al. 2001). Nous évoquerons dans ce qui suit les possibilités de régénération de l'espèce selon les plus importants procédés de multiplication, par glands (semis et transplantation) et par rejets de souches.

I.6.1. Régénération naturelle par semis

L'arbre produit suffisamment de glands pour régénérer naturellement ses peuplements. Malheureusement, la plupart des jeunes semis sont détruits par la saison sèche au bout de 2 ou 3 ans (Boudy, 1952 ; Seigue, 1985 ; Richard, 1987 ; Djaoud, 2004), ou par la concurrence pour les ressources hydriques du sol et la faible luminosité due à un couvert dense et par les incendies. Les jeunes semis nécessitent un léger couvert au cours des premières années et une densité de couvert de plus de 60 % a un effet dépressif sur leur survie et leur croissance (Djaoud, 2004).

En étudiant les facteurs de la régénération naturelle du chêne liège dans la forêt domaniale de Guerrouch, Djinit (1977) a noté que huit glands sur 20 pris au hasard sont dévorés par les rongeurs. Ceci représente 40 % de pertes et auxquelles il faut ajouter les mutilations causées par le bétail pâturant en forêt (Figure 1.14). De plus, les larves de Balanin, *Curculus elephas* (Coléoptère, Curculionidae) diminuent la germination des glands fortement infestés (Richard, 1987 ; Branco et al. 2002).

Un autre facteur entravant la réussite d'une régénération naturelle par semis est la réceptivité du sol. En effet, le surpâturage entraîne le tassement du sol, empêche les glands de germer et rend difficile l'opération d'enracinement (Hasnaoui, 1995 ; Dahmani et al. 2000). Néanmoins, dans les stations favorables au chêne liège et épargnées des perturbations majeurs (surpâturage et feu) et lors des années de bonne pluviométrie subséquent à une bonne glandée, le semis naturel reste une solution précieuse à promouvoir et à accompagner pour régénérer les forêts de chêne liège (Figure 1.15).



Figure 1.14 : Pâturage en forêt de chêne liège.



Figure 1.15 : Semis de chêne liège issus d'une régénération naturelle en forêt mise en défens (Forêt de Kissir, Jijel).

I.6.2. Régénération par rejets de souches

En fonction de l'âge de la souche et de sa vigueur, le nombre de récoltes de liège et les conditions stationnelles, le chêne liège peut rejeter après coupe et donner des rejets vigoureux jusqu'à un âge avancé : 110 à 120 ans en zone humide et 75 à 90 ans en zone semi-aride (Boudy, 1952).

De l'avis de beaucoup d'auteurs (Boudy, 1952 ; Natividade, 1956 ; Batllo, 1978 ; Vignes, 1988), c'est grâce aux rejets de souches que la subéraie a été sauvagée. Les données recueillies par Djaoud (2004) sur la régénération par rejets de souches après incendies dans quelques subéraies de Kabylie, montrent que 380 souches/ha ont rejeté sur un total de 468 souches/ha, soit un taux de 81,20 %. Au même titre, la plupart des souches recépées après incendie dans quelques subéraies de la wilaya de Jijel ont rejeté (Figure 1.16). Dans un jeune peuplement de 20 ans, issu d'une régénération par transplantation et jamais incendié, nous avons observé que 70 % de souches ont rejeté après intervention par coupe sélective.

Dans la même station, le nombre de rejets par souche est tributaire de la vigueur de la souche. Les vieilles souches et les souches grièvement touchées par le feu ne rejettent plus (Figure 1.17). Néanmoins, les efforts déployés pour une bonne régénération des subéraies doivent être poursuivis par la gestion des cépées ayant rejeté jusqu'à la formation de taillis. Un effort certain doit être consenti pour la protection et la sélection des meilleurs brins dans le cadre d'une conduite sylvicole bien raisonnée.



Figure 1.16 : Régénération par recépage d'une forêt de chêne liège incendiées (FD Ouled Askeur). On peut voir sur la photo des souches ayant rejeté après coupe formant des cépées denses (en jaune) et des souches n'ayant pas rejeté après coupe (en rouge).



Figure 1.17 : Souche n'ayant pas rejeté (FD Ouled Askeur).

Toutefois, selon Marion (1951) cité par Belghazi et al (2001b), quel que soit son importance, ce mode de régénération n'est qu'un palliatif et est insuffisant pour assurer la pérennité de la subéraie étant donné la diminution de la capacité des souches à rejeter et à produire avec l'âge des arbres. De ce fait, il doit être complété par des actions en faveur de la régénération naturelle par semis, et le cas échéant par le semis direct de glands ou par la plantation.

I.6.3. Régénération assistée par semis direct de glands

Il consiste à enfouir les glands, pré-germés ou non, dans un sol travaillé (en plein, en sillons, en potet). Zeraia (1981) estime qu'un crochetage d'au moins 20 cm de profondeur (profondeur atteinte par la racine principale au bout de 4 semaines) est bénéfique pour la régénération du chêne liège. Outre sa facilité de mise en œuvre et son faible coût par élimination de la phase pépinière, le semis direct de glands donne la chance au système racinaire de se développer naturellement et permet d'éviter la crise de transplantation. Boudy (1952), Claudot (1974) et Seigue (1985), estiment que le semis de glands donne plus de satisfaction que la transplantation. Dans ce contexte, des études (Alili, 1983 ; Messaoudene, 1984 ; Zair, 1989 ; Chouial et Roula, 2016), ont montré que les meilleurs taux de levée et de croissance initiale ont été obtenus en utilisant des glands pré-germés par rapport aux glands non pré-germés. L'utilisation des glands pré-germés permet, en outre, d'intervenir avant le semis pour améliorer les performances du matériel végétal. Dans ce contexte, l'expérience (Alili, 1983 ; Zair, 1989 ; Chouial, 2004) a montré que la décapitation de la radicule des glands germés a un effet positif sur la levée et la croissance initiale des semis de chêne liège. Cela entraîne la transformation du système racinaire à pivot unique en un système racinaire à plusieurs pivots de remplacement. Un système racinaire à plusieurs pivots permet une meilleure prospection du sol ce qui est bénéfique pour les plants introduits notamment dans les conditions pédoclimatiques difficiles.

Les formations végétales et les conditions de milieu dans lesquelles sont introduits les semis ont une importance considérable sur la réussite ou non de l'opération (Prévosto et al. 2015). En étudiant la régénération du chêne liège par semis dans la Maâmora au Maroc (Belghazi et al. 2001a et 2001b) et en Kroumirie en Tunisie (Khaldi et al. 2001), les auteurs ont observé une corrélation négative entre le taux de recouvrement arbustif et le taux de réussite des semis : plus le couvert est dense plus il entrave la régénération du chêne liège. En plus de l'impact négatif exercé par le couvert sur les jeunes semis exigeants en lumière, les systèmes racinaires traçants des chênes lièges adultes accaparent la majorité des réserves hydriques du sol sur un rayon d'une vingtaine de mètres interdisant, par conséquent, toute installation des semis (Sauvage, 1961 ; Lepoutre, 1965 ; Sondergaard, 1991). En revanche, selon les mêmes auteurs, les meilleures réussites sont observées à découvert, là où le chêne liège et son sous-bois sont quasiment absents.

Malgré l'avantage du semis par rapport à la plantation, la réussite des semis est très fortement limitée par la prédation. En effet, une grande partie des glands semés est aussitôt éliminée par les grands rongeurs comme le sanglier (*Sus scrofa*) et le porc épic (*Hystrix cristata*) et les petits rongeurs comme le mulot (*Apodemus sylvaticus*). Les dégâts observés sont d'autant plus importants lors des années de faibles glandées et dans le cas des semis tardifs. A propos de ce dernier point, nous avons observé que les glands semés au mois de juin dans une subéraie de montagne à Jijel ont été systématiquement éliminés par le porc épic quelques jours après.

Pour faire face aux problèmes de prédation par les rongeurs et les herbivores, plusieurs types de protections ont été expérimentés. Les clôtures électriques et mécaniques donnent des résultats satisfaisants avec cependant un risque encouru à d'autres espèces de faune. De plus, de telles installations réclament de lourds investissements et des entretiens réguliers. Par ailleurs, l'efficacité des répulsifs chimiques est controversée : par exemple les répulsifs à base de capsaïcine (composant actif du piment) sont notés efficaces pour certains auteurs (Willoughby et al. 2011) mais sans effets pour d'autres (Leverkus et al. 2013). Une technique simple de semis expérimenté par nos soins (*Données non publiées*), consiste à enfouir les glands dans des trous ouverts avec un piquet en métal ou en bois sans trop perturber l'emplacement. Un gland est déposé à l'intérieur de chaque trou puis recouvert de terre (Figure 1.18). Pour bien finir le travail il y a lieu de bien tasser la terre avec les pieds. Après six mois le semis peut atteindre la hauteur de 20 cm (Figure 1.19). En plus de sa rapidité d'exécution, cette technique s'est montrée très efficace contre le sanglier et les autres rongeurs par rapport aux semis en potets et sur bourrelet qui ont été très vite prédatés.



Figure 1.18 : Gland semé en trou (Forêt de Kissir, janvier 2013).



Figure 1.19 : Plantule de chêne liège issue d'un gland semé en trou (Forêt de Kissir, juin 2013).

De ce qui précède, on peut supposer que le semis de glands constitue une bonne alternative pour atteindre une régénération suffisante et économique d'autant plus que la germination des glands ne pose pas de problème. Si les conditions édaphiques et en humidité sont réunies, la germination atteint plus de 95% (Zeraia, 1981 ; Zair, 1989 ; Younsi, 2002). Cependant, pour avoir de bons résultats, il faut prendre des précautions quant au choix de glands, technique de préparation du terrain et de semis, période de semis, entretiens et protection des semis.

I.6.4. Régénération assistée par transplantation

Cette méthode consiste à transplanter sur le terrain les plants élevés en pépinière en conteneurs ou à racines nues. Dans ce contexte, l'expérimentation a montré que les plants de chêne liège élevés en conteneurs résistent mieux à la transplantation que les plants élevés à racines nues (Natividade, 1956 ; Zair, 1989 ; Hachachena, 1995). En effet, les plants à racines nues ne présentent pas un potentiel de régénération suffisant pouvant leur assurer une bonne reprise (Benoît De Coignac, 1981). Pour ces raisons, la régénération de chêne liège par transplantation se fait habituellement par les plants en mottes élevés en pépinière.

I.6.4.1 Problèmes liés à l'élevage de plants de chêne liège

Comme les résineux, les plus utilisés en reboisement, les plants de chêne liège ont été cultivés en sachets de polyéthylène empotés avec un substrat composé généralement de terre prise sur place et rangés en planches au sol. L'élevage en pépinière dure plus d'une année. Malheureusement, ce mode d'élevage s'est avéré inefficace car les plantules de chêne liège développent rapidement un long pivot après germination des glands. Le pivot atteint rapidement le fond du sachet provoquant des déformations racinaires de type « chignon » qui deviennent de plus en plus sévères avec le temps passé en pépinière. De telles déformations racinaires sont la cause d'importants échecs après transplantation. En effet, le déterrement des plants dépéris quelques années après plantation permet de voir les racines étranglées sur elles-mêmes.

Ceci a imposé la recherche d'autres modes d'élevage qui conviennent mieux aux espèces à forte croissance du pivot. Ce n'est qu'à la mise au point du conteneur WM (Reidacker, 1978) que le problème de chignon a été réglé. Ce type de conteneur composé de deux parties en plastique rigide, emboîtables, à angle dièdres et à fond ajouré oblige les racines à se diriger au fond du conteneur et s'arrêter au contact de l'air. Les conteneurs sont rangés en caissettes déposées sur des châssis élevés de 30 à 40 cm par rapport à la surface du sol.

Ce nouveau système d'élevage permet l'auto-cernage des racines au contact de l'air et de minimiser par conséquent la formation du chignon. En plus de cette déformation rédhibitoire, d'autres déformations racinaires, de type nœud et crosse affectant le collet des plants, sont aussi souvent observées en pépinière (Figure 1.20). L'origine de ces deux déformations préjudiciables pour l'avenir des plants reste encore mal connue.

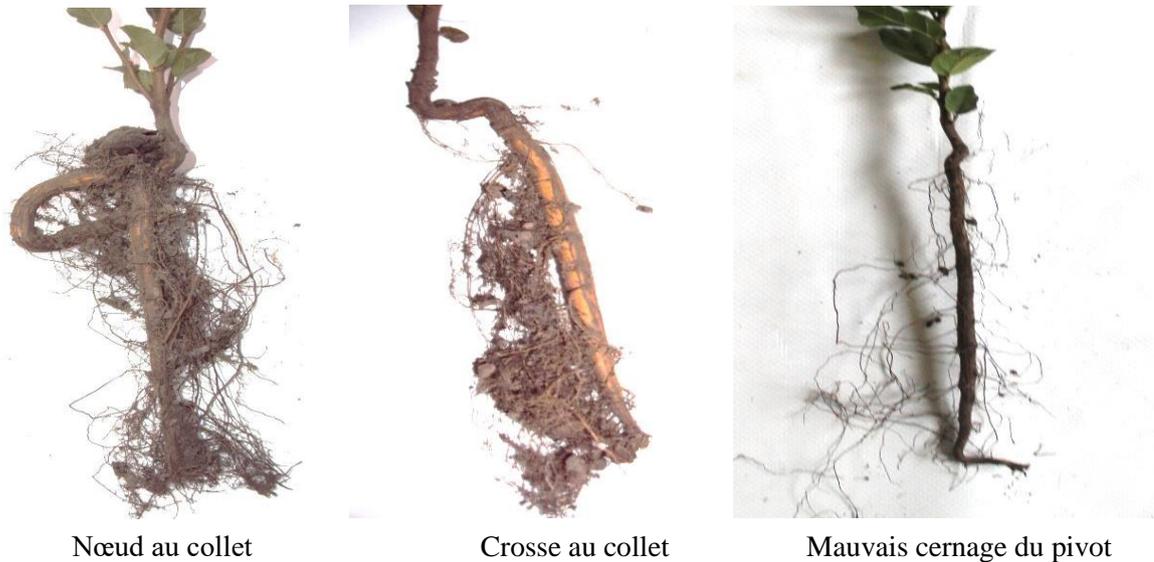


Figure 1.20: Principales déformations racinaires rédhibitoires observées chez les plants de chêne liège en pépinière.

L'avènement de la technique de production en surélevé a permis d'une part d'améliorer sensiblement la qualité des plants de chênes et d'autre part d'initier des travaux visant la recherche des substrats appropriés à ce nouveau mode d'élevage (Benseghir, 1996 ; Argillier, 1996 ; Argillier et al. 1999 ; Benamirouche et Dernane, 1999 ; Roula, 2001). En effet, l'utilisation de conteneur à fond ajouré nécessite un substrat ayant une bonne rétention en eau. Un substrat d'une bonne rétention en eau permet non seulement l'économie d'eau mais aussi de minimiser le lessivage des éléments nutritifs. Malgré leur performance, les substrats à base de matériaux organiques sont très peu utilisés dans nos pépinières par rapport aux substrats ordinaires à base de terre. En plus d'être source de pathogènes et d'adventices, l'utilisation de supports de culture à base de terre, généralement prise sur place, ne permet pas de produire des plants de bonne qualité notamment en ce qui concerne la partie racinaire (Figure 1.21).

Une autre difficulté liée à l'élevage des plants de chêne liège à laquelle sont confrontées les pépinières est l'approvisionnement en glands. En effet, en raison de l'irrégularité des glandées connue pour cette espèce, il est indispensable de prévoir une conservation à court, moyen et

long terme. La conservation à court terme des glands récoltés à la maturité (novembre-janvier) jusqu'au semis en pépinière au mois d'avril se déroule sur 4 à 6 mois. Les glands de chêne liège appartiennent aux groupes des semences récalcitrantes à conservation très difficile (Roberts et al. 1984 ; Bonner and Vozzo, 1987 ; Merouarni et al. 2001 ; González-Rodríguez et al. 2011, Xia et al. 2012). La non-maitrise de la conservation des glands engendre des pertes énormes (Figure 1.22) et a longtemps nécessité la collecte de quantités énormes de glands (au moins 5 fois la quantité recherchée) pour satisfaire les besoins des pépinières. Ces collectes massives sont préjudiciables pour la préservation et la gestion durable de la subéraie. Hormis les travaux de Merouarni et al. (2001), le problème de conservation de glands de chêne liège demeure encore non résolu.



Figure 1.21 : Plants de chêne liège élevés dans un substrat à base de terre.

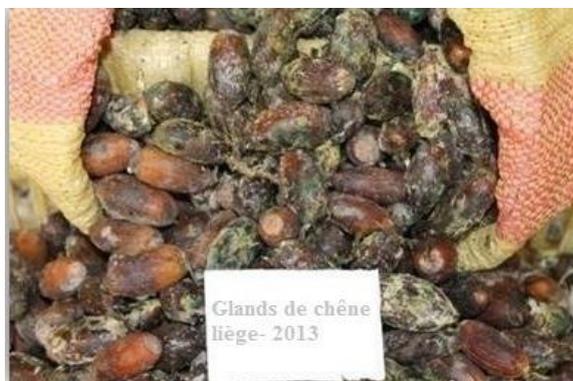


Figure 1.22 : Pertes en glands engendrées par la non-maitrise de leur conservation.

De ce qui précède, il apparaît que l'itinéraire technique propre aux plants de chêne liège est encore mal maitrisé. Des travaux de recherche sont donc requis pour lever les contraintes sus-énumérées et améliorer la qualité des plants. Par ailleurs, à la recherche de normes, il importe d'identifier les attributs morphologiques permettant d'évaluer au mieux la qualité des plants produits et prédire leur performance après transplantation sur le terrain.

I.6.5. Les reboisements de chêne liège en Algérie

Malgré sa position au sein de la forêt algérienne, tant en superficie qu'au niveau des intérêts écologiques et socio-économiques qu'il procure, le chêne liège n'a pas été considéré comme espèce de reboisement dans les différents programmes lancés après l'indépendance (plans

triennal, quadriennal et quinquennal, etc.). En effet, les reboisements étaient plutôt orientés vers l'augmentation du taux de boisement du pays et la lutte contre l'érosion éolienne et hydrique. Cet état de fait est clairement illustré par l'exemple du fameux projet du barrage vert lancé dans les années 1970. Ainsi, le choix des espèces a été orienté vers des espèces jugées plastiques comme le pin d'Alep. Parmi les 2517 projets de reboisement réalisés durant la période 1962-2002, seuls 30 reboisements de chêne liège sur à peine 1000 ha ont été recensés, ne représentant ainsi que 0,1 % de la superficie des reboisements réalisés durant cette période s'élevant à 838 961,89 ha (Benamirouche, 2005).

Ce n'est qu'en 1999 que le plan national de reboisement (PNR, 2000-2020) a prévu une superficie de 160 000 ha à reboiser en chêne liège sur vingt ans, soit 24,13% des 663 000 ha représentant la superficie totale des plantations forestières prévues par le PNR (DGF, 1999). Depuis, des efforts louables ont été déployés pour concrétiser ce plan ambitieux. Malheureusement, les pépinières existantes n'ont pas été en mesure de satisfaire les besoins en plants de qualité pour un objectif annuel moyen de 33 150 ha de plantations forestières, toutes espèces confondues. En effet, à de rares exceptions près, les pépinières relevant aussi bien de l'administration des forêts que du secteur privé ne fonctionnent pas à leur pleine capacité de production et n'ont pas connu de modernisation des techniques d'élevage adaptées aux différentes espèces utilisées dans les reboisements.

Pour le chêne liège, le bilan à mi-parcours du PNR (2000-2011) des plantations en chêne liège indique une surface totale de réalisation de 18 500 ha, pour une moyenne annuelle de 1 500 ha mais sans grand succès (Bouhraoua et al. 2014) comme ç'a été le cas des reboisements réalisés avant le PNR (Benamirouche, 2005). En plus des conditions difficiles de survie sous climat méditerranéen, les causes des échecs sont à rechercher à différents niveaux de la chaîne de reboisement dont la qualité de la semence et des plants, les techniques de plantation, l'époque de plantation, l'entretien et la protection des jeunes plants.

I.7. Conclusion

Le chêne liège est une espèce végétale spontanée de la forêt algérienne et constitue la deuxième essence après le pin d'Alep. C'est une essence forestière qui contribue le plus à l'économie forestière nationale par la vente du liège et de ses dérivés lesquels sont à l'origine de milliers d'emplois permanents et saisonniers en période d'exploitation. En outre, cet arbre

participe efficacement à la préservation des richesses biologiques (floristiques et fauniques), à la lutte contre l'érosion des sols, à la lutte contre l'effet de serre par la séquestration du carbone et joue un rôle paysager remarquable eu égard à la diversité des faciès qu'il forme et des espèces constituant son cortège floristique. En somme, c'est une espèce qui constitue une richesse écologique et économique digne d'une attention particulière.

L'étude de l'état des forêts de chêne liège au sens large montre l'état de dégradation généralisé et la déficience de la régénération naturelle de l'espèce sous les effets conjugués des facteurs biotiques et abiotiques et où le facteur anthropique joue un rôle prépondérant. En effet, les forêts de chêne liège sont fortement perturbées par les actions anthropiques engendrées par le mode de vie des populations riveraines : parcours, ramassage de glands et de bois de combustible, défrichements pour l'agriculture traditionnelle, collecte de plantes aromatiques et médicinales et apiculture. Cette pression anthropique est aggravée par les incendies récurrents et le manque d'aménagement raisonné et de toute action sylvicole cohérente en faveur du chêne liège. Ainsi, en plus des pertes annuelles occasionnées par les incendies, beaucoup de peuplements de cette essence vieillissent progressivement suite à une régénération naturelle déficiente ; celle-ci demeure néanmoins possible dans les forêts épargnées des perturbations majeures et mises en défens. Par ailleurs, dans de nombreuses situations, le recours à la régénération assistée est incontournable pour assurer le renouvellement et la pérennité des peuplements dégradés. Dans tous les cas de figure, il est nécessaire de déterminer quelles sont les potentialités de cette régénération et quels facteurs doivent être pris en compte pour atteindre une régénération suffisante.

Les tentatives d'assister le renouvellement du chêne liège sont nombreuses mais loin d'être concluantes. En effet, la diversité des conditions écologiques et socio-économiques dans l'aire de l'espèce rend difficile la proposition d'une vision rénovatrice commune à toutes les forêts. Chaque subéraie peut constituer un cas particulier et doit donc bénéficier d'une gestion particulière. Pour atteindre ces objectifs, la levée des contraintes entravant l'élevage de plants de qualité notamment en matière de sélection des meilleures provenances, de conservation de glands et de conduite en pépinière ainsi que les rares exemples de réussite de sa régénération doivent être capitalisés et servir comme base pour toute action de réhabilitation en faveur de cette espèce. Nonobstant le caractère pyrophyte du chêne liège, des aménagements de prévention et de lutte contre les incendies sont indispensables pour protéger le capital subéricole contre ce phénomène récurrent favorisé par les changements climatiques.

En parallèle, il importe d'instaurer des pratiques d'aménagement adéquates afin d'améliorer la récupération post-incendie des arbres et des peuplements brûlés. Sur le plan économique, la filière liège devrait être réorganisée afin de surmonter les problèmes entravant la gestion du patrimoine subéricole à tous les niveaux : exploitation, stockage et gestion des dépôts, certification, commercialisation, transformation et exportation.

CHAPITRE 2

STORAGE OF CORK OAK (*QUERCUS SUBER* L., 1753)
ACORNS AND EFFECT OF STORAGE DURATION ON
SEEDLINGS VIGOUR: ARTIFICIAL REGENERATION
IMPLICATIONS.

Résumé

Conservation des glands de Chêne-liège (Quercus suber L., 1753) et effet de la durée de conservation sur la vigueur des plants : implications pour la régénération artificielle de l'espèce. Afin de pallier l'irrégularité des glandées de Chêne-liège et de pouvoir faire le semis des glands au bon moment, le recours à la conservation des glands est incontournable. Ainsi, l'objectif de ce travail était de rechercher une technique de conservation permettant de maintenir le plus longtemps possible la viabilité de ces semences récalcitrantes. À cet effet, l'aptitude à la conservation des glands récoltés de deux provenances a été suivie pendant une durée de 21 mois. Après un tri rigoureux, les glands apparaissant sains ont été soumis à trois durées de ressuyage différentes, emballés dans quatre types de contenants et mis en conservation en chambre froide maintenue entre 0 et 2°C. Après chaque trois mois de conservation, 500 glands sont extraits de chaque modalité pour déterminer la teneur en eau des glands, leur pouvoir germinatif et les pertes en glands. En outre, une expérience a été conduite en pépinière avec des glands conservés afin de vérifier s'ils étaient aptes à fournir des plants de qualité suffisante. Les résultats obtenus montrent que les glands de Chêne-liège peuvent être conservés en bon état au moins jusqu'à 21 mois. Il apparaît, par ailleurs, que la durée de conservation dépend de l'origine des glands et du ressuyage subi avant conservation. Les fûts plastiques fermés sont plus appropriés à la conservation des glands que les fûts ouverts et les sachets en polyéthylène testés dans cette étude. Une teneur en eau initiale des glands comprise entre 37 et 40 % est recommandée avant mise en conservation. En outre, les résultats de l'essai conduit en pépinière montrent que les glands conservés plus d'une année dans les fûts fermés fournissent des plants vigoureux et que le semis des glands en avril semble propice pour l'élevage des plants en pépinière. Certainement, cette longue durée de bonne conservation connue pour les glands de cette espèce revêt un grand intérêt pratique pour sa régénération, constitue une base pour la conservation à long terme des semences et pour de futures recherches pour expliquer la perte de viabilité des semences récalcitrantes.

Mots clés : Chêne liège, glands, conservation, vigueur de plants, régénération artificielle.

Abstract

To palliate the irregular periodicity of *Q. suber* acorn production and to sow in the appropriate time, the safe storage of seed of the species is unavoidable. Thus, the aim of this work was to find out a storage method that allows to preserve as long as possible the viability of cork oak acorns, already known as recalcitrant seeds. Thus, the storability of cork oak seeds harvested from two seed sources have been followed through a period of 21 months. After a vigorous cleaning, apparently healthy and intact acorns were subjected to three drying periods and stored under low temperature (0-2°C) within four storage containers. Five hundred acorns from each storage combination were sampled at three-month intervals for moisture content determinations, germination tests and acorns losses. Additionally, a nursery experiment was carried out with fifteen-month well preserved acorns to evaluate whether or not they were able to develop further into normal seedlings. The results obtained show that cork oak acorns can be safely stored over up twenty-one months without substantial reduction in germinability. Moreover, storage life span seems influenced by seed origin and drying prior to storage. Sealed drums are better for long storage as compared to unsealed drums and sealed bags here tested. An initial moisture content ranging between 37 and 40% would be suitable for storage success. Furthermore, results got from nursery trials showed that acorns kept inside some sealed drums even ones after one-year storage produce more vigorous seedlings and that sowing of acorns in April seems optimal for containerized seedling production. Certainly, this long safe storage period known for this species is of considerable practical implication to its regeneration, set a solid base for longer seed storage and to carry out further investigations to explain viability loss in these recalcitrant seeds.

Key words: Cork oak, acorns, storage, seedlings vigour, artificial regeneration.

II.1. INTRODUCTION

Seeds that cannot be stored by orthodox means (low moisture content, sub-freezing temperatures) are often called recalcitrant (Bonner and Vozzo, 1987). Seed storage of this group remains an unsolved problem and there is no satisfactory method for maintaining their viability over the long term (Hong et al. 1996; Hong and Ellis, 1996; Iakovoglou et al. 2014), the cause and processes of losing viability is unclear (Cho et al. 2001; Greggains et al. 2000). Their short longevity (Crocker and Barton, 1953) and their limited storage potential are a significant problem in the maintenance of genetic seed banks for long-term conservation (Hendry et al. 1992; Roberts, 1973). Indeed, several factors contribute to the susceptibility for seed deterioration during storage: initial seed quality, storage temperature, moisture content and mycoflora (Malik and Jyoti, 2013). Through the control of the metabolism of seeds, moisture content is one of the most crucial factors in maintaining viability of seeds in storage (Barton, 1961; Bonner, 1981; Connor and Sowa, 2003; Crocker and Barton, 1953; Harrington, 1972 ; Heit, 1967; Holmes and Buszewicz, 1958; Gosling 1989; Özbingöl and O'Reilly, 2005 ; Schroeder and Walker, 1987 ; Sisman and Delibas, 2005 ; Sowa and Connor, 2003 ; Tompsett and Pritchard, 1998 ; Vashisth and Nagarajan, 2009 ; Nahar et al. 2009 ; Wang et al. 2001 ; Shaban, 2013), particularly for seeds to be stored for long periods and at above freezing temperatures (Barnett, 1969 ; Huss 1954). The extent to which dehydration can be tolerated varies amongst species (Chin and Robert, 1980) and within species [e.g. *Quercus rubor* (Suszka and Tylkowski, 1980, 1982)].

Beside the difficulties above, for *Quercus suber* acorns exhibiting recalcitrant post-harvest physiology (Roberts et al. 1984; Bonner and Vozzo, 1987; González-Rodríguez et al. 2011; Xia et al. 2012), fungus development, in particular *Ciboria batschiana* (Zopf) Buchwald (*Ascomycetes, Sclerotiniaceae*), is another factor limiting their long-term storage (Merouani and al, 2005). In fact, Because of irregular acorn periodicity (personal obs.) and that acorns maturity (November- January) does not correspond with the appropriate nursery sowing time (April), successful method of cork oak acorn long storage is required to ensure a continuous production of planting stock and, consequently, an uninterrupted reforestation program. Regardless its socio-economic and ecological importance for the Mediterranean forest, several works were interested in the regeneration of the species (e.g. Lepoutre, 1968 ; Messaoudene, 1984 ; Sondergaard, 1991 ; Hasnaoui, 1998; Messaoudene et al. 1998 ; Díaz-Fernandez and Gil Sanchez, 1998 ; González-Rodríguez et al. 2011), however, contrary to some other oak species [e.g. *Q. rubor* (Suszka and Tylkowski, 1980 and 1982)] , the storage behaviour of *Q.*

suber acorns has received little attention except works realized in Portugal (Merouani et al. 2001, 2005). Therefore, there is an urgent need to carry out more research into the storage of the species. Accordingly, this study is part of successive studies undertaken in the regional station of forest research of Jijel to find the appropriate storage conditions allowing to maintain the viability of cork oak acorns as long as possible.

Besides the common parameters used to assess the efficiency of the storage combinations here experimented, a nursery experiment was carried out with fifteen-month well preserved acorns to evaluate whether or not they were able to develop further into normal seedlings for planting stock.

II.2. MATERIAL AND METHODS

II.2.1. Seed collection and handling

Acorns used in the experiment were hand-collected in December 2012 from the ground under contiguous trees of the same age (it is realized that the cork oak stands are generally even-aged due to the deficiency of natural regeneration) of two natural cork oak stands localized in Jijel (East of Algeria): coastal cork oak forest of Kissir (36°79' N, 5°66' E) and mountain cork oak forest of Texanna (36° 66'N, 5°78' E). The harvested acorns were placed in plastic boxes and immediately transported to the laboratory where they underwent, within 48 h, a rigorous cleaning conducted in two phases: visual examination to remove extraneous material (impurities, leaves, cupules), immature and insect-infested acorns at first and elimination of small, dried and empty acorns which float (Boland, 1985; Pichon and Guibert, 2001) by flotation test in a bag filled to 2/3 water, in a second time. After these two operations, two lots of 350 kg of mature, intact and apparently healthy acorns were used for the experimentation.

II.2.2. Storage modalities

Although many factors influence the longevity of recalcitrant seeds in storage, only two factors have been considered in the present study: seed treatment prior to storage and storage container.

II.2.2.1. Storage treatments

After water flotation, a subplot of acorns was dried under laboratory environment for three days (TD), a second subplot of acorns was dried under laboratory environment for one day (PD) and a third subplot of acorns were stored without drying (ND). To encourage uniform

drying, the acorns were spread uniformly on a table and mixed regularly (Özbingöl and O'Reilly, 2005). The initial moisture content at the time of storage was determined for each subplot after the drying operation. Thus, the acorns of each subplot were immediately stored after achievement of the drying time.

II.2.2.2. Storage container

The acorns were stored in five container types:

Sealed plastic drum 80 L capacity allowing a hermetic storage (SD);

Unsealed plastic drum 80 L capacity allowing an open storage (UD);

Sealed clear polyethylene bag 130 µm thick allowing a sub-hermetic storage (TB);

Sealed clear polyethylene bag 10 µm thick allowing a sub-hermetic storage (FB);

Sealed bag of woven polypropylene as a control container (C).

The combination of these parameters allowed establishing 17 storage modalities as reported in table 2.1.

Table 2.1: Storage combinations tested.

Storage container	Drying time		
	3 days	1 day	0 day
Sealed plastic drum 80 L capacity	K (V), T (XII)	K (III), T (IX)	K (I), T (VII)
Unsealed plastic drum 80 L capacity	K (VI), T (XIII)	K (IV), T (X)	K (II), T (VIII)
Sealed polyethylene bag 130 µm	T (XV)	-	-
Sealed polyethylene bag 10 µm	T (XVI)	T (XI)	T (XIV)
Sealed bag of woven polypropylene (Control)	-	-	K (XVII)

K: Kissir seed source T: Texanna seed source

II.2.2.3. Conditioning and storage environment

In order to prevent an eventual spread of fungus to healthy acorns throughout the storage period, all acorns were coated with a fungicide (Rhodiasan 80 % thiram) before their storage. The acorns were subsequently mixed in dray cork powder and packed in drums or directly packed in polyethylene bags and control bag without cork powder. All storage containers are filled to 80 % capacity. As generally accepted that constant low temperature and relative humidity are necessary for long-term storage of seeds (Arvier, 1983), the storage was conducted in controlled chamber maintained at a temperature oscillating between 0° and 2°C and 75-80 % of relative humidity. Under such low temperature, we believe to reduce the

metabolism of acorns without damaging them, to limit therefore their pre- germination and to inhibit also fungal proliferation.

II.2.3. Assessment of acorns viability

The efficiency of the storage combinations expressed by the kinetics of moisture content, germination and acorns losses was monitored at regular intervals of three months, the final test being carried out after 21 months of storage. Unfortunately, due to an error during processing, the acorns remaining viable at the 21st month have been involuntary removed from the cold room.

A working sample of 500 acorns was randomly extracted from each combination at each sampling date to make the following measurements (this large sample seems enough to reduce sampling error for a mixed seed lot). Subsequently, comparison of the results of viability tests after these different acorn's storage combinations (drying status and storage container) should indicate which of the storage combination of those tested minimizes loss in viability during storage.

II.2.3.1. Moisture content of the cotyledons

Expressed as percentage on a fresh weight basis, water content (MC %) was carried out with a sub-sample of 100 intact acorns among the 500 removed from each storage combination. To determine fresh weight (FW. g), the 100 acorns were weighed separately immediately upon removal from storage (each acorn were identified with a number from 0 to 100). The acorns were then oven dried at 105°C for 24 hours (Justice and Bass, 1978; Gosling, 2002; Özbingöl and O'Reilly, 2005; Reed, 2005), by which time seed dry weight was constant (personal data.), and weighed for dry weight (DW. g). The individual moisture content was calculated using the following formula:

$$\text{Moisture content (MC) \%} = [(FW - DW) / FW] \times 100$$

The mean moisture content obtained of each sub-sample after storage was compared to the mean moisture content calculated at the time of storage following each dry down.

II.2.3.2. Germination test and parameters

All germination tests were conducted with a sub-sample of 100 apparently intact acorns among the 500 moved from each storage combination. The acorns were sown in sawdust moistened with water whenever necessary and placed under laboratory conditions. Germination, defined as radical protrusion by at least 2 mm (Daws et al. 2006; Snow, 1991; Xia et al. 2012), was scored three times a week for one month. The parameters being considered to evaluate the germinability are germination percentage calculated on the 30th day as the total of germinated acorns and germination speed as the time required to reach a germination of 50 % (Corbineau et al. 2001).

II.2.3.3. Storage losses

A percentage of losses in acorns during storage were calculated among the 500 moved at quarterly intervals from each storage combination. Losses include pre-germinated acorns, infested acorns and un-germinated acorns. Acorns that failed to germinate by the end of the test period were cut in half using a scalpel and visually examined to determine their condition according to Noland et al. (2013). Acorns with no visual cotyledon discoloration were scored in the healthy group; acorns with dark cotyledon discoloration were scored in the fungi-infected (decayed) group and those with brown cotyledon discoloration were considered as dead.

II.2.4. Seedlings growth and vigour

The goals of seed storage are successful germination and seedling establishment (Hong and Ellis, 1996). To evaluate whether or not well preserved acorns were potentially able to develop further into normal seedlings, fifteen-months well preserved acorns of the combinations I, III, V and XII were sown on April 2014 considered as the best sowing period for the species (personal obs.). Eighty intact seed of each combination were sown in an open-bottomed containers types WM of Reidacker (17 cm deep with top opening 25 cm² and volume 400 cm³), made of thin plastic and filled with the same growing mixture made of forest oak-humus and cork granules (1:1, v/v). All seeds were sown at the same depth (≤ 1 cm). The containers were arranged in a completely randomized design. Irrigation and control-weeding were uniformly given as and when necessary throughout the vegetation period.

Seedlings height (H) and collar diameter (D) were measured for all survival six-month old seedlings. Seedling vigour was calculated following Abdul-Baki and Anderson (1973) as:

$$SV = \text{germination (\%)} \times \text{seedling length (cm)}.$$

II.2.5. Statistical analyses

The experiment was conducted in a completely randomized design. An analysis of variance was used to compare the moisture content and germination acorns of both storage combinations. When significant differences were found in the ANOVA test at $p = 0.05$ probability level, means were separated according to Newman and Keuls multiple range test. Likewise, the growth parameters of seedlings were subjected to one-way analysis of variance employing Newman and Keuls multiple range test at $p = 0.05$. All statistical analyses were performed with the XLSTAT software package.

II.3. RESULTS

II.3.1. Moisture content

The data of mean moisture content registered throughout storage are shown in figure 2.1. Prior storage, the initial moisture content ranged from 36.98 to 40.46 %, showing a slight but not significant ($P < 0.05$) variation, in all cases, within the species and following the three drying periods. Throughout storage, registered moisture content levels appeared affected by storage duration and storage combination.

The acorns stored in sealed drums with an initial moisture content ranging between 37.80 and 40.46 % for Kissir seed source (I, III and V) and between 37.03 and 40.06 % for those of Texanna (VII, IX and XII), lost respectively 3.19 to 4.37 % and 2.82 to 3.94 % of water during the first three months of storage, except with the acorns of the XII storage method maintained at their initial moisture content. In the sixth month, a decrease of about 5% of water content was observed for Kissir acorns and 1-4 % for those of Texanna, except for acorns of the V storage combination for which the moisture content appeared relatively stable. Acorns of Kissir showed a trend to hydration in the ninth month for non-dried acorns (I) and 1-day dried acorns (III), while a decrease of 3 % was recorded for acorns dried for 3-days (V). At this ninth month of storage, a light rehydration of 1.27 % was recorded for acorns of Texanna dried for 3-day (XII), while a decrease of 3 % was recorded for non-dried acorns (VII).

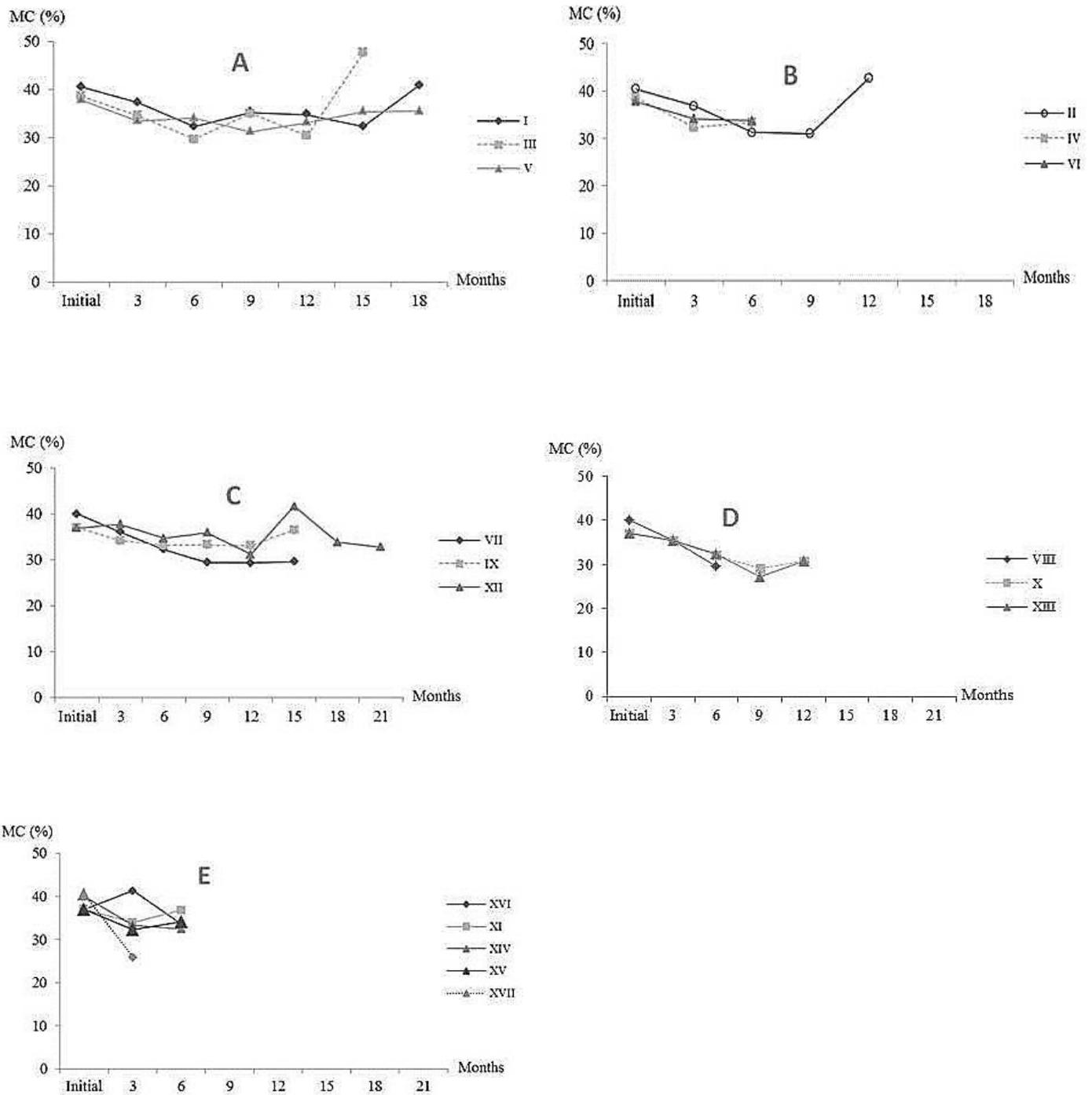


Figure 2.1: Changes in mean moisture content according to length and conditions of storage. Each sample point represents the mean of 100 acorns. Drying status: ○ 0 day, △ 1 day, □ 3 days. A, B, C, D and E represent respectively acorns of Kissir stored in sealed drums, acorns of Kissir stored in unsealed drums, acorns of Texanna stored in sealed drums, acorns of Texanna stored in unsealed drums and acorns stored in plastic bags and control.

After one year in storage, except for acorns of Kissir 3-days dried (V) for which a hydration of 2 % was recorded, water losses from 0.1 to 5 % were recorded for acorns of the other storage combinations. In the fifteenth month, except of 2.5 % of water losses registered for acorns of the I storage combination, gains in water from 1 (VII) to 17% (III) were recorded for the other storage combinations. At the eighteenth month, a different trend of the moisture content was registered: a decrease of 7.76 % was recorded for the acorns of Texanna (XII), while a gain in water of 8.55 % was recorded for acorns of the storage combination (I). In the storage at month twenty-one only remained the acorns of the XII storage combination which exhibited a moisture content of 32.80 %.

The moisture contents of acorns stored in unsealed drums fell gradually during the first six months of storage with water losses ranging between 4 and 10 %. While the moisture content kept stable for the acorns of the II storage combination, water losses persisted until the ninth month of storage for the acorns of the combinations X and XIII, relatively well preserved with respective water losses of 3.18 and 5.23 %. After one year of storage, the acorns of the two remaining storage combinations X and XIII show a trend to hydration with respective gain in water of 1.57 and 3.4 %, while the gain in water was more pronounced with a rate of 11.74 % for the acorns of the combination II. All acorns placed in unsealed drums were completely lost after one year of storage.

Acorns kept in the polyethylene bags 10 µm thick (XI, VIX and XVI) and 130 thick (XV) experienced too early progressive dehydration over the first six months. The acorns of the control storage combination XVII did not remain more than three months on storage, exhibiting a marked decrease of water content which rapidly reached values lower than 30 %.

II.3.2. Germination

Germination percentages registered throughout storage are shown in figure 2.2. The data recorded about the acorns germination with respect to the storage combinations was similar at 3-months storage. With the exception of acorns stored in sealed drums for which the germination percentages remained up to 95 %, germination rates show a clear decrease for the other storage containers after 6-month storage. After 9 months of storage, the acorn's germinability show a decrease for the sealed drums but with satisfactory values exceeding 88 % of germination, while a more significant decrease was registered for acorns stored on some unsealed drums. It appeared in this ninth month that the acorns dried for 3 days (combinations

V, XII and XIII) exhibited the highest germination percentages compared with non-dried and one-day dried acorns.

After one year in cold room, the apparently intact acorns stored in sealed drums (VII and IX) failed to germinate, while the germination percentages of the other sealed drums showed a slight decrease to a minimum of 72 %. The acorns stored on some unsealed drums (II, IV, VI and VIII) were totally pre-germinated, whereas others exhibited a germination percentage of 62 % for the combination X and 78 % for the combination XIII.

The acorns of the hermetic combinations I, III, V and XII remained until the fifteenth month, all showed satisfactory germinations, reaching percentages of 43, 90, 94 and 92 %, respectively. These germinations were relatively synchronized with respective percentages of 26.80, 84, 92 and 65 % recorded through the first two weeks of moist stratification.

Acorns stored in sealed drums (combinations III, V and XII) and still viable in the eighteenth month exhibited high germination percentages with respective values of 54, 82 and 100%. At the end of the experiment, only the acorns of Texanna seed source dried for 3 days and stored in sealed drums remained viable with a high germination percentage of 86.40 % where 80 % of acorns have germinated within 15 days of moist stratification.

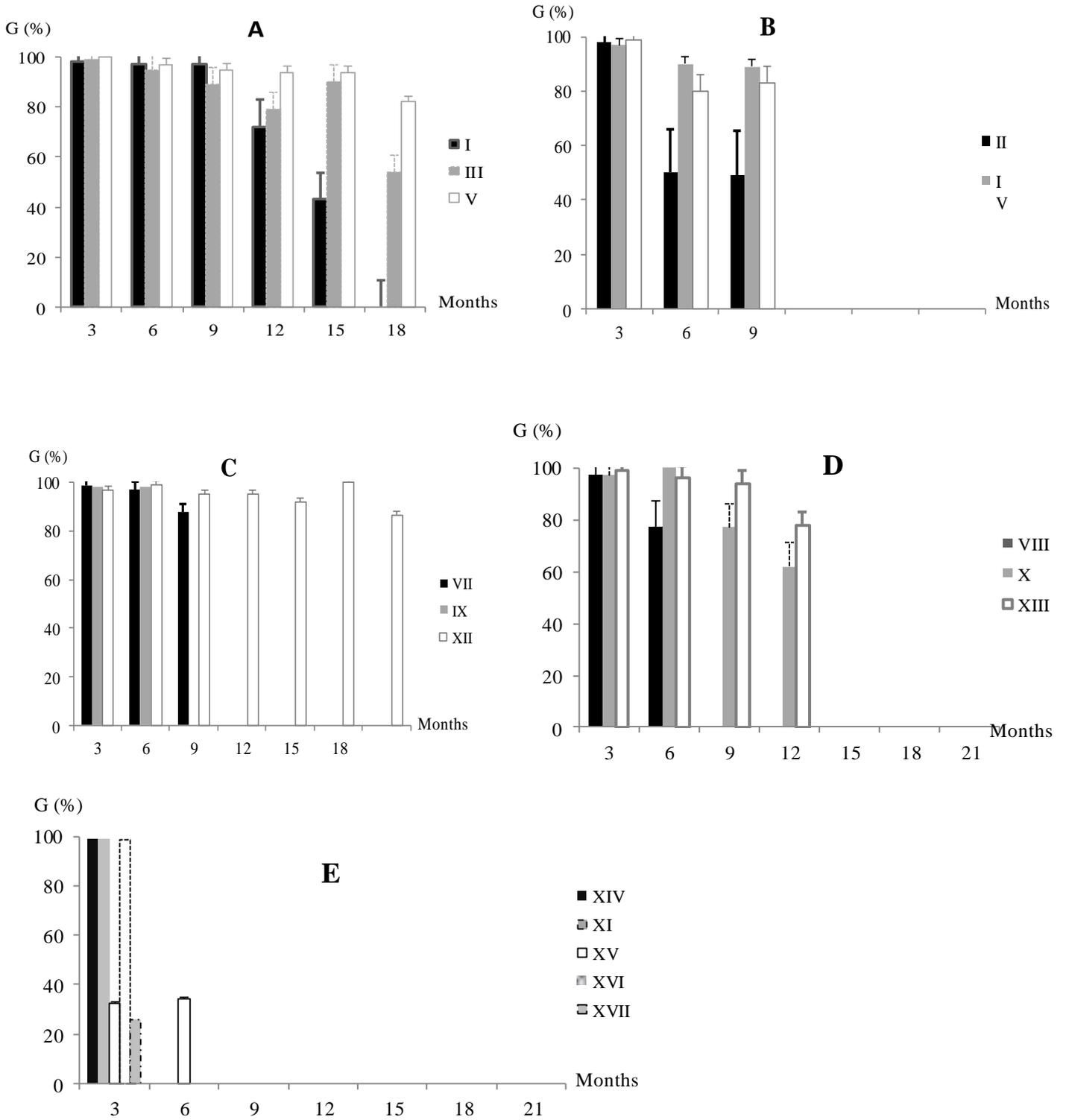


Figure 2.2: Changes in germination percentages of acorns according to length and conditions of storage. The acorns germinated normally during the germination period were counted and the total number of acorns germinated was divided by the total number of acorns placed in moist sawdust and the result was expressed as percentage. Each bar represents a storage combination and bars of the same color correspond to the same drying period (black = 3 days, gray = 1 day and white = 0 day).

II.3.3. Acorn losses

The data of table 2.2 show that in general the acorns stored on bags XI, XIV, XV, XVI and XVII were rapidly lost before even six months of storage either by early germination (radical exceed 5 cm) or by decay. After one year of storage, early germination percentages of 48 and 51 % were respectively recorded for acorns stored in sealed drums III and XII, except for acorns of the X and XIII storage combinations exhibiting, respectively, losses of 26 and 39 %, while acorns stored in unsealed drums showed losses ranging from 90 to 100 %.

In the fifteenth month of storage, it persisted only acorns stored in sealed drums including three storage combinations of Kissir seed source (I, III and V) and one storage combination of Texanna seed source (XII). At this experimental stage, a significant proportion of acorns of the storage combinations I, III and V showed broken pericarp which germinate after moist stratification and, therefore, useable for seedling production (data not shown).

The acorns still viable at the eighteen month of storage were those stored in sealed drums III, V and XII, while a total viability loss was registered for the acorns stored in the sealed drum I. Fungi infestation appeared at this stage with rates ranging from 12 to 34 %. At the end of the experiment, there remained viable only acorns of Texanna seed source slowly dried within 3 days and stored in sealed drum XII.

Table 2.2: Acorns losses during storage according to storage combinations.

Storage modality	Acorns losses (%)																			
	March 2013			June 2013			September 2013			December 2013			March 2014			June 2014			September 2014	
	G (%)	P (%)	DP (%)	G (%)	P (%)	DP (%)	G (%)	P (%)	DP (%)	G (%)	P (%)	DP (%)	G (%)	P (%)	BP (%)	G (%)	P (%)	BP (%)	G (%)	P (%)
I	0	0	0	0	0.4	0	0	0	0	2.4	6.4	0	0	0	65.6	0	34.2	0		
II	23.8	2	1.4	80.8	2.8	0	67.4	0.6	0	83.6	6.4	0	100	0	0					
III	0.6	0.8	0	20.8	0.8	0	59.8	0.2	0	47.8	0	0	0	0	97	30.0	15.8	0		
IV	15.4	0.6	2.6	81.8	0	0	72.4	0	4.8	100	0	0	100	0	0					
V	0.8	0	0.8	10.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	85.4	38.4	16	0		
VI	23.2	2	1.4	81.0	0.6	0	55	0	0	100	0	0	100	0	0					
VII	1	0.4	0	2.6	0.2	0	47.2	0.2	0	0	0	0	0	0	0					
VIII	10.6	1.2	1.4	57.8	3.4	0	0	100	0	100	0	0	100	0	0					
IX	0.8	0	0	35.4	1.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
X	16.4	0	0.4	24.2	1	0	22.0	0	2.6	13.75	12	0	-	-	-					
XI	27.8	0.2	0	72.8	16.4	0	100	0	0	100	-	-	-	-	-					
XII	0.4	0.2	1.2	33.2	0	1	42	1	2.2	51.4	5.4	0	58.52	0	0	37.6	12.4		42	1.0
XIII	0.8	0	0.8	42.6	0.4	1	29.2	1.2	4.6	38.6	0.8	0	100	-	-					
XIV	19.81	0	0	88.6	0	0	0	100	0	-	-	-	-	-	-					
XV	29.4	0	0	89.6	0	0	-	100	-	-	-	-	-	-	-					
XVI	20.68	0	0	74.64	5.4	0	-	100	-	-	-	-	-	-	-					
XVII	27.96	0	9.51	0	100	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-					

The total number of acorns lost was divided by the 500 acorns removed from each storage combination at each sampling date and the result was expressed as percentage. Losses include four categories: acorns germinated during storage (G), infested acorns (P), acorns with dried pericarp (DP) and acorns with broken pericarp (BP). When losses registered for a storage combination were found superior to 70% this one was considered as ineffective and automatically removed from the controlled chamber.

II.3.4. Seedling growth and vigour

The data recorded for seedling growth are shown in figure 2.3. Analyses of variance showed that the seedling growth is influenced by the seed storage combination. In fact, a variance difference higher than the set limit ($p=0.05$) was established for the variables height and diameter.

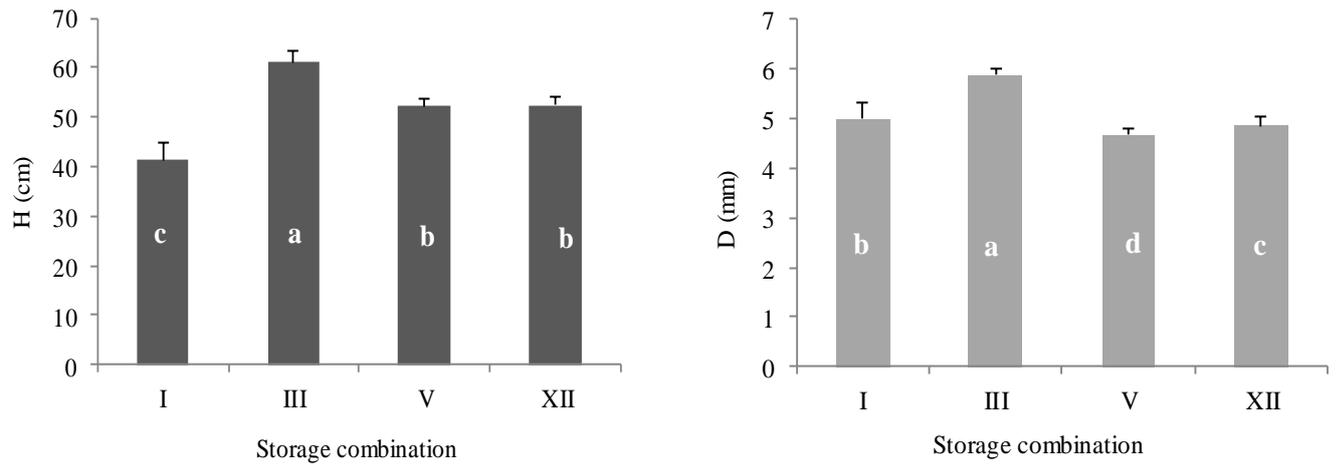


Figure 2.3: Mean height (H) and collar diameter (D) with standard errors of cork oak containerized seedlings supplied by acorns stored for fifteen months. Bars with no letter in common differ significantly at 5% probability level, according to Newman and Keuls multiple ranking test.

The highest six-month old seedlings were provided by seeds of the storage combination III with an average height of 61.08 cm, followed by those supplied by seeds of the storage combinations XII, V and I with mean heights of 52.38, 52.26 and 40.33 cm, respectively. The six-month-old *Q. suber* seedlings exhibit average diameters ranging between 4.99 and 5.89 mm. The highest diameter was obtained by the seedlings supplied by seeds of the storage combination III ($D = 5.89$ mm), followed by those supplied by the combinations I, XII and V with respective mean values of 4.99, 4.86 and 4.67 mm.

As regard seedling vigour, the highest index of seedling length was calculated to be about 7027.2 for seedling supplied by seeds of combination III, followed by those supplied by the combinations V, XII and I with respective SV of 6510.44, 6382.96 and 2509.48.

II.4. DISCUSSION

II.4.1. Moisture content

The moisture content of cork oak acorns stored in the sixteen storage combinations and the control varied throughout the storage period. Prior to storage, on an average for both storage combinations, moisture content ranged from 36.98 to 40.46% but showed a slight variation according to the draying status. In fact, the initial moisture content showed decreasing trend with respect to the three drying treatments with values of 40.46, 38.60 and 37.80% registered for undried acorns, 1-day dried acorns and 3-days dried acorns of Kissir seed source, respectively. The same decreasing tendency of initial moisture content was registered for acorns of Texanna seed source with values of 40.06, 37.03 and 36.98%, respectively registered for undried acorns, 1-day dried acorns and 3-days dried acorns. Under laboratory environment, the acorns have been slowly and partially dried, therefore, the dehydration levels following 1-day and 3-days were not significant at $p = 0.05$. Likewise, highly recalcitrant seeds of *Avicennia marina* showed no reduction in their moisture content after 10 days of drying in a dry air stream (Pammenter et al. 1984). In this context, it has been suggested that mild drying prior to storage could reduce germination and so extend storage life span (King and Roberts, 1980). However, incongruent opinions have been expressed about the faster drying effects on the moisture content at which recalcitrant seeds lose their viability (Berjak and Pammenter, 2008). Other researchers found that viability loss of recalcitrant seeds of *Quercus rubra* (Pritchard, 1991), *Quercus robur* (Finch-Savage et al. 1992) and *Quercus nigra* (Bonner, 1996) was independent of drying rate.

On the other hand, it has been suggested that a lack of drying rate effect could be connected to seed size (Tompsett, 1984; Daws et al. 2004; Berjak and Pammenter, 2008). Indeed, a wide variation in seed size is showed within *Q. suber* species (Personal obs.). In this regard, the larger recalcitrant seeds of *Q. suber* studied in the current experiment (especially those of Kissir with a mean weight of 8.46 ± 1.90 g calculated for 1000 acorns), the more slowly will embryo, cotyledon and pericarp dehydration proceed. Moreover, a study on the pericarp micromorphology of *Q. suber* acorns showed that the pericarp, by its thicker and layered microstructure, functions to prevent rapid water loss (Chin et al. 1989; Sobrino-Vesperinas and Viviani, 2000).

In general, the mean initial moisture levels measured in this study are lower than levels reported for cork oak acorns in other studies: 41 – 51 % (MC) Merouani et al. (2001) for

Southern Portuguese seed source (N 38°33', W 8°42') and 48.4 % (MC) by Xia et al. (2012) for Italian seed source (N 42°46', E 11°06'). However, the differences may be provenance (habitat from where the seeds were collected) related. These discrepancies of the moisture content levels before storage confirm, obviously, the water content variability within recalcitrant seeds of this species.

The acorns kept in sealed drums all showed fluctuation in moisture content during the storage as revealed by the statistical analysis at $p=0.05$. Both for acorns of Kissir seed source (I, III and V) and those of Texanna seed source (VII, IX and XII), water losses of 1 to 5% were registered during the first year of storage with moisture content values, in all cases, superior to 30 %. Trend to hydration was recorded in the fifteenth month for the majority of the storage combinations; the rate of increasing was higher in acorns of the storage combination III (17 %). A different behavior against the moisture content appeared at the eighteenth month: whereas a decrease of 7.76 % was recorded for the acorns of Texanna (XII), a gain in water of 8.55 % was recorded for acorns of Kissir (I). In the twenty-one months of storage it remained only the acorns of the XII storage combination harvested from Texanna seed source and dried for 3 days with a moisture content of 32.80 %.

As long as the drums are well sealed not allowing, therefore, water exchange with the surrounding air, these fluctuations in water content when measured for the same drum, although weak, confirm that acorns remain metabolically active even under such storage conditions. Moreover, it should be recognized that these variations may result from variations in moisture content among individual seeds since they were harvested from different parent trees. In this regard, Berjak and Pammenter (1997) stated that there are usually marked differences in axis water contents among individual seeds even when harvested simultaneously. Thus, each seed lot must be processed separately. The moisture levels here recorded seems, however, suitable for storage with respect to the results subsequently registered for acorns losses and germination rates.

In open drums, the registered moisture content fell gradually during the first year of storage. Because of the exchanges with the surrounding environment (RH was near 75-80 % through the storage period), trends to hydration appear after one year for the three remaining storage combinations II, X and XIII with respective gain in water of 11.74, 1.57 and 3.4%. Likewise, acorns of the control method (XVII) and those stored in polyethylene bags 10 μm thickness

(XI, VIX and XVI) and 130 thickness (XV) experienced too early a progressive dehydration and thence lost six months of storage.

II.4.2. Acorn germination

After similar germination percentages registered for all storage combinations at three months' storage with high values ranging from 97 to 100 %, the germinability decreased to 50 % and 77 % for the combinations II and VIII, whilst it remained up to 80 % for the other combinations after six months in storage. At the ninth month, the germinability of acorns stored in unsealed drum II decreased much more rapidly to 49 % for an MC level of 31.24 %, the acorns of sealed drums VIII and IX were unable to germinate, while germination percentages ranging from 77 to 97 % were recorded for the other drums. At this storage duration, it appeared that the acorns dried for 3 days (combinations V, XII and XIII) exhibited the highest germination percentages compared with non-dried and one-day dried acorns.

After a whole year in cold room, the acorns stored in the sealed drums VII and IX, apparently intact, failed to germinate. With the exception of the acorns dried for 3-days and stored in sealed drums V and XII maintaining, respectively, high germinations of 94 and 95 %, the germinability lowered to 72 % for the sealed drum I filed with non-dried acorns. The acorns of Texanna stored in unsealed drums (X and XIII) exhibited acceptable germination percentages of 62 and 78 %, respectively.

In the fifteenth month, 90, 94 and 92 % of germination were registered for the acorns stored in the sealed drums III, V and XII, respectively. These acorns appeared, moreover, well preserved ever since the synchronic germination reached by the end of the second week of moist stratification with respective values of 84, 92 and 65 %. In contrast, a substantial decrease in germination to 43 % was registered for acorns stored in sealed drum I (26.80 % at the end of the second week of the test), which indicated obviously physiological changes in acorns of this storage combination with increasing in storage. Unfortunately, delayed and lowered germination of acorns of this combination could not be explained with the available data; however, we believe that this progressive decrease of germination can be indicative of progressive vigour loss for Kissir acorns as a result of ageing with increasing in storage.

When the acorns of the sealed combination I were unable to germinate at the eighteenth month, the acorns stored in sealed combinations III, V and XII exhibited respective

germination percentages of 54, 82 and 100 %. The acorns of Texanna seed source dried for 3 days and stored in sealed drum XII remained exclusively viable after 21 months of storage with a high germination percentage of 86 %, where 80 % of them had germinated within 15 days of moist stratification. Hence, the rapid and synchronous germination rate registered after this storage duration will be characteristics of vigorous seeds.

II.4.3. Acorn losses

The results got about the acorn losses show that the acorns packed in bags were much more quickly lost compared to acorns stored in sealed and unsealed drums. These early losses in bags are not due to water losses since they have been wholly maintained above an acceptable value of 32 % MC but they are rather ascribed to pre-sprouting during storage with percentages of 79, 89, 90, 75 and 100 % registered for acorns stored in bags XI, XIV, XV, XVI and XVII, respectively. Prematurely germination was also registered in sealed drums but with radicles significantly less long as compared to those in bags and unsealed drums (no radicle exceeded 5 mm). In fact, the tendency of acorns to germinate in the storage container constitutes a real problem in acorn storage. Bonner and Vozzo (1987) stated that acorns have metabolism so rapid that pregermination commonly occurs in storage. Thus, germination during storage has the potential to complicate acorn handling, make sowing difficult and increase susceptibility to fungal damage (Bonner, 2003). In further experiment (data not shown) we found, however, that the acorns that germinated during storage developed to normal seedlings when sown with radicles less than 10 mm in length and showing geotropism. In this regard, reducing even more the storage temperature may be a solution to prevent germination during storage, but this way cannot be envisaged only before carrying out frost tolerance and chilling tests that could help in the determination of the lower storage temperature at which *Q. suber* acorns of different provenances can survive without freezing or chilling damage. Nevertheless, the high losses registered indicate that the three plastic bags tested in this study are not appropriate for storage of cork oak acorns even for short duration. In the same way, maintaining drums opened seem not successful for cork oak acorns storage, at least in these experimental conditions. In contrast, acorns stored in sealed drums (I, III, V and XII) have been well preserved until the 15th month at which time appeared, however, the provenance effect. In fact, a significant proportion of acorns of Kissir seed source (I, III and V) showed broken pericarp but remained usable as long as they germinated once more after moist stratification.

At the eighteen month undried acorns of Kissir seed source (combination I) were unable to germinate. The cutting test demonstrates obviously a brown discoloration of the cotyledons that can be indicative of acorns death. Several studies have been conducted regarding seed deterioration during storage (e.g. Hendry et al. 1992; McDonald, 1999; Smith and Berjak, 1995; Roos, 1989; Walters, 1998; Begum et al. 2013; Shaban, 2013), but the real cause of this irretrievable natural phenomena remains not completely understood. It is clear that with increase in storage period, the seed quality parameters decreased with a relative biochemical changes (Begum et al. 2013). In our study, dried status and provenance (genetic features, biochemical composition and rate of ageing) appears to be, at least, the predisposing factors responsible in viability loss of acorns stored in sealed drum I at the eighteenth month. Thus, the obtained results indicated that the acorns of Kissir seed source were significantly more sensitive to the length of storage, as well as to storage conditions, than those harvested from Texanna. Likewise, we have found in a current confirmatory experiment carried out following the best storage conditions established in this research that the moisture content as well as storability registered after fifteen months are highly correlated to the parent tree (data not shown). We believe that exposing acorns of various genotypes to accelerated aging test lead to assess changes in vigour during seed storage that can enhance comprehension of the deterioration process.

The acorns still viable at the eighteenth month of storage are those stored in sealed drums III, V and XII, while a total viability loss was registered for the acorns stored in the sealed drum I. Fungi infestation appeared at this stage with values ranging from 12 to 34 %. At the end of the experiment (twenty-one month), there remained viable only acorns of Texanna seed source slowly dried within 3 days and stored in sealed drum (combination XII). Absurdly, an insignificant infestation percentage of 1 % was registered at this last sampling date. In fact, in addition to the protective effect of fungicide, mixing the acorns with cork powder prior to storage separates the acorns from each other that prevent, therefore, the spread of pathogenic fungi throughout storage. Moreover, it can be said that this low pathogenic infestation may be attributed to the good crop production of the harvest year in which we can have a good part of healthy acorns for storage.

Obviously, the above results indicate that cork oak acorns can be stored in sealed plastic drum at low temperature for up to 21 months. Indeed, such conditions allow to reduce acorns' metabolic activity. Moreover, carbon dioxide will replace the oxygen in the remained

headspace volume, as long as drums of both storage combinations are not used at their full capacity. In this regard, a most relevant research has shown that in closed system the accumulation of carbon dioxide inhibit respiration (Crocker and Barton, 1957), which can be used advantageously for storing seeds (Justice and Bass, 1978). Likewise, Tylkowski (1977) reported more effective storage of *Q. robur* at high CO₂ levels than at low ones. Furthermore, Suszka et al. (1996) stated that modified environment (high CO₂ and low O₂ concentration) could be responsible for the maintenance of germination in *Quercus cerris*, a recalcitrant species like *Quercus suber* here studied. Bonner (2008) stated that reduction of oxygen levels will slow metabolism and increase longevity of seeds, while Villers et al. (2010) stated that a low O₂ and high CO₂ atmosphere had a lethal effect on storage molds. On the other hand, it should be clear that opening and resealing drums and removing 500 acorns at each sampling date will increase the headspace volume of drums and could induce changes in CO₂/O₂ ratio. Therefore, further work is needed to investigate the incidence of such modifications on acorns and their immediate atmosphere as well as the optimal value of this ratio for long term storage.

II.4.4. Seedlings growth and vigour

Results of fifteen months stored seeds on seedling height, diameter and vigour are statistically different at $p=0.05$. Seedlings supplied by fifteen months well preserved acorns of the combinations III, V and XII were better developed than those raised from acorns of the storage combinations I in terms of height and collar diameter, although, all seedlings exceeded the standards recommended for this species. Such growths have led to higher vigour index for seedlings supplied by acorns of the combinations III, V and XII compared to those supplied by the acorns of the combination I producing less vigorous seedlings. Indeed, the rapid and synchronous germination rate registered after fifteen months in storage for acorns stored inside combinations III, V and XII will be characteristics of vigorous seedlings. These observations suggested, however, that there is no substantial, or at least less, decline in seed vigour after fifteen months on storage, and that the sowing in April seems to be the best sowing period for the species. Obviously, these findings confirm the favorable storage conditions experimented in this study for cork oak acorns that enable to preserve seed vigour on the acceptable level for production purposes. In this regard, Clor et al. (1976) stated that the storage at low temperature delays oxidative losses of food reserves in seeds preserving, therefore, the ability of embryos to produce vigorous seedlings. In contrast, the lower vigour

index registered for the seedlings supplied by acorns of the storage combination I may be related to reserves depletion due to acorns ageing with increasing storage.

II.5. Implications to artificial regeneration of the species

The primary purpose of storing seeds is to have a viable seed supply once it is needed for regeneration either by direct seeding or planting after nursery cultivation. Storage of seeds is of paramount importance to preserve the seeds from collection to the time of sowing and to make available for the years when little or no seed has been produced (Holmes and Buszewicz, 1958). Hence, successful seed storage will allow overcoming fluctuations in seed production that guarantees a continuous reforestation or regeneration program. With exceptions due to provenance effect, our results indicate that fresh acorns of *Q. suber* can be safely stored for 21 months without substantial reduction in viability. These findings are of considerable practical implication to *Q. suber* storage and seedlings cultivation. Indeed, to palliate the irregular acorn periodicity, which has, already known, for this species, nursery manager can collect acorns during an abundant seed year and store them, according to the best storage conditions established in this study, until nursery sow over two springs after harvest. If successful, it will be possible to extend the *Q. suber* acorn supply around two years to ensure a continuous production of planting stock. On the contrary, if suitable storage conditions aren't supplied, acorns losses increase significantly, that perturb regeneration program. Moreover, in further experiment (data not shown), we found that the acorns that germinated during storage were still viable after they were removed from storage, and therefore, could be used for normal seedling production if their radicles are less than about 10 mm in length. Moreover, the pruning of the sprouted radicles of up to 10 mm in length prior nursery sowing does not prohibit seedling production. In fact, in agreement with previous works (Castle, 1983; Bonner, 1982; Bonner, 2003; Chouial, 2004; Appleton, 1995; McCreary, 1996; Devine et al. 2009), we have observed in further experiment new growth from the ends of broken *Q. suber* radicles, and that the newly formed roots exhibited normal growth and seedlings had a root morphology characterized by multiple taproots. Hence, root surface area becomes larger with seedlings of multiple taproots as compared to seedlings with a single taproot that could enhance seedling field performance especially under harsh site conditions associated to Mediterranean environment. Besides the opportunities above presented, the safe storage offers the opportunity to use the best seeds, to sow in the appropriate time, to have a synchronous acorn germination and homogenous seedling emergence that enhance seedlings uniformity and quality.

II.6. CONCLUSION

To palliate the irregular periodicity of acorns production and to sow in the appropriate time, the safe storage of *Q. suber* acorns is unavoidable. The results here obtained shows that cork oak acorns can be safely stored over up twenty-one months without substantial reduction in germinability. Moreover, the following conclusions may be drawn from the above results:

- Under the storage environment here supplied, the acorns stored in sealed plastic drums retained better viability throughout the storage period as compared to unsealed drums, polyethylene and woven polypropylene bags here tested;
- Under the same handling and storage conditions, seeds of various provenances of *Q. suber* species lose viability to different extents. Hence, seeds of each provenance must be processed and stored separately;
- The lower values for seed infestation registered proved that after vigorous cleaning, coating acorns with fungicide and mixing them with cork powder prior to storage seems highly effective against fungal proliferation already registered during storage;
- An initial moisture content ranging between 37 and 40 % would be suitable for *Q. suber* acorns storage;
- As recalcitrant seeds, *Quercus suber* acorns can retain viability around two years at near freezing temperature ranging from 0 to 2°C.
- Spring sowing (April) seems to be the optimal period for *Q. oak* containerized seedling production in nursery.

Thus, for successful storage, fully mature cork oak acorns collected from high cropping trees inside a good seed year should be cleaned as soon as possible by visual examination and water flotation and then dried under ambient laboratory environment until reaching 37 to 40 % of moisture content, and promptly coated with a non-penetrating systemic fungicide, mixed with dry cork powder, packed in sealed plastic drums filled at 80 % capacity, hermitically sealed and placed in cold room maintained at 0- 2°C. The drums should be opened for few times once or twice per quarter to adjust the atmosphere (CO₂/O₂ ratio) and to mix acorns at the time.

Certainly, this longer safe storage period known for this species is of considerable practical implication to its regeneration, set a solid base for longer seed storage and to carry out further investigations to explain viability loss in these recalcitrant seeds. However, further researches are required for relationship storability-provenance /parent tree, seed survival under diverse

factorial combinations of low temperature-moisture content and optimum ratio CO_2/O_2 in order to find the optimum storage requirements and to maximize even more longevity in storage.

CHAPITRE 3

**ESSAI DE PRODUCTION ET DE VALORISATION DU COMPOST
D'ACACIA *CYANOPHYLLA* POUR LA PRODUCTION DE PLANTS DE
CHÊNE LIÈGE (*QUERCUS SUBER* L.): RESULTATS EN PÉPINIÈRE
ET APRÈS TRANSPLANTATION**

Résumé

Cet article présente les résultats d'un essai conduit au niveau de la pépinière expérimentale de l'INRF de Jijel visant la production et l'évaluation des caractéristiques agronomiques du compost d'*Acacia cyanophylla* pour la production de plants de chêne liège. A cet effet, après élaboration du compost, neuf substrats à base de compost et un témoin à base d'humus forestier ont été confectionnés, caractérisés du point de vue physique et chimique et mis à l'essai en pépinière. La croissance des semis et la capacité de régénération racinaire mesurées en pépinière ainsi que la reprise après plantation ont été les paramètres utilisés pour juger la qualité des plants et l'effet du compost. Les résultats obtenus montrent que l'*Acacia cyanophylla* présente une bonne aptitude au compostage, son compost peut être facilement produit avec ou sans stimulateur. Le comportement des plants des dix substrats montre par ailleurs, que des améliorations qualitatives significatives ont été enregistrées chez les plants élevés dans les substrats à base de compost par rapport aux plants du témoin. Les plants élevés dans le compost affichent des gains significatifs de croissance allant de 28 à 48% en hauteur, de 17 à 30% en diamètre et de 15% en biomasse, une meilleure capacité de régénération racinaire et une meilleure reprise sur le terrain par rapport aux plants du témoin. Il est donc possible d'améliorer la qualité des plants de chêne liège grâce à l'utilisation de compost d'*Acacia cyanophylla* comme substrat de culture en remplacement de l'humus forestier.

Mots clés : chêne liège, substrat, compost, croissance, régénération racinaire, reprise.

Abstract

Production and use of Acacia cyanophylla compost for cork oak (Quercus suber L.) seedling production: nursery and field results. This article aims to improve cork oak seedlings quality by use of compost to make growing media in substitution of the forest humus. *A. cyanophylla* composts were made with or without activator. Nine composts based growing media and a control made of forest humus were made, physically and chemically characterized and used for seedlings production in nursery according to a three block design. Seedlings growth and root growth potential measured in nursery as well as field recovery were monitored to highlight the compost effects on seedlings quality. *A. cyanophylla* has good composting ability; its compost can be easily produced even without activator. *A. cyanophylla* compost improves cork oak seedlings quality as compared to forest humus. Seedlings supplied by compost based growing media showed significant growth gains ranging from 28 % to 48 % in height, 17 % to 30 % in diameter and 15 % in dry matter, better root potential growth and better recovery in field as compared to those of control. Cork oak seedlings quality can be improved with growing media based on *A. cyanophylla* compost.

Key words: cork oak, growing media, compost, seedlings growth, root growth potential, field recovery.

III.1. INTRODUCTION

Le terme substrat de culture en agriculture s'applique à tout matériau naturel ou artificiel qui, placé dans un conteneur, pur ou en mélange, permet l'ancrage du système racinaire et joue ainsi vis-à-vis de la plante le rôle de support ou intervient à des degrés divers dans l'alimentation hydrique ou minérale de la plante. Il peut être constitué d'un seul matériau ou d'un mélange de matériaux divers (Blanc, 1987).

En absence de substrat standard, les supports de culture utilisés en pépinière sont composés de terre disponible sur place utilisée seule ou mélangée généralement avec du sable. Ces substrats sont certes économiques mais plusieurs études (Fellah, 1979 ; Letreuch- Belarouci, 1981) ont démontré qu'ils ne permettaient pas de produire des plants de qualité en raison de leurs propriétés physiques et chimiques peu convenables.

À la recherche de substrats pouvant offrir de meilleures conditions de croissance aux plants en pépinière, une dizaine de tourbes de la région nord-est du pays ont été expérimentées à partir des années 1990 pour la production de plants de chêne liège et de pin maritime (Benamirouche et Dernane, 1999 ; Djellabi et al. 2004 ; Kahia et al. 2004). Les taux de croissance enregistrés en pépinière étaient comparables à ceux obtenus avec la tourbe blonde importée. Toutefois, l'exploitation à une échelle opérationnelle des tourbières ne peut pas être envisagée pour des raisons d'approvisionnement et de risques de dégradation des milieux d'extraction qui sont des zones humides d'importance internationale classées sites Ramsar.

En substitution à la tourbe blonde importée, d'autres matériaux organiques ont été expérimentés comme les grignons d'olives, la sciure de bois, les marcs de raisin et les noix d'abricot sans pour autant arriver à maîtriser parfaitement les seuils et les modalités de leur emploi. À la recherche de matériaux accessibles et répondant aux exigences de croissance des plants, plusieurs études se sont intéressées au recyclage des déchets urbains solides (Charnay, 2005; Ben Ammar, 2006; Tahraoui Douma, 2013), de la biomasse végétale (Miller et Jones, 1995; Ammari et al. 2003) et animale (M'Sadak et al. 2012a) à des fins agronomiques. En effet, le recours au compostage de la biomasse végétale constitue un choix potentiel à développer pour des raisons agronomiques et environnementales : restitution de la matière organique et réduction des émissions de gaz occasionnées par le brûlage des résidus sylvicoles.

Ainsi, au lieu d'incinérer la biomasse végétale issue des différentes opérations sylvicoles en forêt, de la taille d'arbres en ville et des chaumes, celle-ci est récupérée, compostée et valorisée dans la confection de substrats de culture pour l'élevage en pépinière de plants de diverses espèces. En effet, le compostage de la biomasse végétale fraîche est une étape indispensable pour stabiliser les matériaux organiques (Miller et Jones, 1995). Les résultats obtenus en pépinières ayant eu recours aux substrats à base de compost de déchets sylvicoles et agricoles pour l'élevage de plants de diverses espèces étaient très satisfaisants (Lemaire et al. 1989; Landis, 1990; Miller et Jones, 1995; Ammari et al. 2003). Toutefois, la généralisation de l'emploi du compost requiert tout d'abord la réponse à quelques préoccupations concernant la disponibilité et l'accessibilité du matériau envisagé, le coût de production, les caractéristiques agronomiques, le comportement en culture et l'existence de préjudices économiques et écologiques liés à son utilisation à grande échelle.

Parmi les espèces pouvant offrir une source renouvelable de matière verte à composter, l'*Acacia cyanophylla* Lindl. offre de réelles potentialités en raison notamment de sa croissance rapide permettant une exploitation à courte rotation et de sa disponibilité vis-à-vis des superficies plantées ces dernières années à travers tout le pays.

Ainsi, le présent article présente les résultats d'une étude menée au niveau de la pépinière expérimentale de la station régionale de recherche forestière de Jijel (Algérie) visant l'évaluation des possibilités d'introduction du compost dans le processus de production de plants forestiers via la production d'un compost d'*Acacia cyanophylla*, sa caractérisation et l'évaluation de son effet sur la qualité des plants de chêne liège (*Quercus suber* L.) en pépinière et après transplantation en parcelle expérimentale.

III.2. MATÉRIÉL ET MÉTHODE

III.2.1. Production du compost

L'objectif de cette phase était de produire un compost pour des essais en pépinière. L'*Acacia cyanophylla* constitue le matériel végétal utilisé pour la production du compost. Pour la préparation du broyat, les branches ayant un diamètre inférieur à 5 cm récoltées d'arbustes rabattus à proximité de la pépinière expérimentale, ont été broyées à l'aide d'un broyeur doté d'un système à couteaux.

Le broyat a été aussitôt mis en andains de 1,50 m x 1,50 m x 1,30 m sur une plate-forme en béton légèrement inclinée pour faciliter le drainage du lixiviat de compost.

Afin de stimuler le processus de compostage, deux intrants (urée et fientes de volaille) ont été ajoutés lors de la mise en andain du broyat. Au total, trois andains ont été constitués :

Andain 1 : Broyat d'*Acacia cyanophylla* (sans intrant).

Andain 2 : Broyat d'*Acacia cyanophylla* + urée (NH₂)₂CO₄ à raison de 3kg d'urée/andain ajoutée en deux applications ; la première à la mise en andain et la deuxième lors du premier retournement (Lamhamedi et al. 2006).

Andain 3 : Broyat d'*Acacia cyanophylla* + fientes de volailles, à raison de 0,20 m³/andain ajoutées en couches lors de la mise en andains.

La température et l'humidité à l'intérieur des andains ont été suivies comme deux variables essentielles de contrôle du processus (Finstein et Morris, 1975). Cinq mesures de température (4 aux coins et 1 au centre de l'andain) ont été réalisées quotidiennement à la même heure de la journée à l'aide d'un thermomètre étanche (HI 935005) équipé d'une sonde compost d'une longueur de 1,4 m. Le suivi journalier de la température permettait de détecter les différentes phases de compostage et d'intervenir pour réajuster les paramètres essentiels à l'activité microbienne qui sont l'oxygénation et l'humidité. Au besoin, des arrosages sans excès ont été effectués de façon à maintenir un taux d'humidité de 50 à 60 % (Barrington et al. 2002) et des retournements pour l'oxygénation.

Un test de germination a également été réalisé pour vérifier la maturité du compost. À cet effet, des graines de lentille ont été mises en germination dans des plaques de semis horticoles contenant 32 alvéoles de 100 ml de volume chacune et repotées avec des échantillons des trois composts élaborés. Les plaques ont été placées sur paillasse de laboratoire et humectées au besoin. L'absence d'effet phytotoxique a été jugée après le calcul du pourcentage de germination des graines dans les trois composts. En raison de la germination très rapide des graines, le test n'a duré que deux semaines durant lesquelles il nous a été possible d'observer l'état général des semis levés.

À la fin de l'opération de compostage, les composts élaborés ont été criblés avec un tamis de 10 mm afin d'éliminer les grosses particules non totalement compostées.

Le rendement en compost a été calculé en déduisant le volume final après maturation et criblage du volume initial de broyat mis en compostage. Une extrapolation a été faite pour calculer le rendement en compost d'un hectare planté en *Acacia cyanophylla*.

III.2.2. Valorisation du compost pour la production de plants de chêne liège

L'objectif de cette phase était d'évaluer les possibilités d'incorporation du compost d'*Acacia cyanophylla* en pépinière pour l'élevage des plants de chêne liège. À cet effet, en plus des trois composts élaborés, six substrats ont été confectionnés en substituant partiellement les trois composts avec de granulés de liège et de sable d'oued. Ainsi, neuf substrats à base de compost ont été mis à l'essai en pépinière en comparaison avec un témoin composé de proportions égales d'humus forestier et de granulés de liège, ordinairement utilisé en pépinière (Tableau 3.1).

Tableau 3.1 : Nature et dosage (exprimé en proportion massique de l'apport) des substrats utilisés comme amendement dans les différents essais et le témoin.

Référence	Compost de broyat d'Acacia	Compost de Broyat d'Acacia+ Urée	Compost de broyat d'Acacia+ Fientes de volaille	Humus forestier	Granulés de liège	Sable
S0*				50	50	
S1	100					
S2		100				
S3			100			
S4	80				10	10
S5		80			10	10
S6			80		10	10
S7	60				20	20
S8		60			20	20
S9			60		20	20

* : témoin

Après leur confection, des échantillons des dix substrats ont été mis en sachets étiquetés puis caractérisés au laboratoire de point de vue pH et conductivité en suspension de substrat dans l'eau (rapport 1/5), teneur en matière organique (perte au feu au four à moufle à 550°C pendant 04 heures), teneur en azote (méthode Kjeldahl), masse volumique apparente et porosité (méthode Lamhamedi et al. 2006).

III.2.2.1. Description du test

L'essai a été conduit en blocs aléatoires complets avec trois répétitions. Chaque substrat a été représenté par deux caissettes contenant chacune 40 conteneurs et déposées aléatoirement au sein du bloc. L'essai renfermait, ainsi, 2400 plants de chêne liège : 80 x 10 x 3.

Les glands utilisés ont été récoltés d'arbres de chêne liège aux environs de la pépinière d'élevage et conservés en chambre froide de la récolte au semis. Avant le semis, les glands ont été mis en germination en sciure de bois maintenue humide au laboratoire. Le semis en pépinière a été effectué le 18/03/2013 à raison d'un gland pregermé par conteneur WM de Reidacker composé de deux parties emboîtables et sans fond et d'un volume de 400 cm³. L'élevage a été conduit sur châssis surélevés à 40 cm de la surface du sol afin de permettre le cernage des racines au contact de l'air. Outre les soins courants assurés au besoin (arrosage et désherbage), aucun amendement n'a été apporté aux plants durant tout le cycle d'élevage.

III.2.2.2. Mesures et observations

Afin d'évaluer les performances des substrats élaborés, des mesures de hauteur H (cm), diamètre au collet D (mm) et biomasse sèches (g) ont été effectuées sur un échantillon de 25% de plants de chaque substrat au cours et en fin du cycle d'élevage. Les plants mesurés ont été aléatoirement choisis et étiquetés afin de faciliter leur suivi. Le ratio de robustesse Hauteur/diamètre H/D (cm.mm-1) a été subséquentement calculé. Pour la détermination des biomasses sèches, les tiges et les racines des plants échantillonnés ont été mis à l'étuve maintenue à 80°C pendant 24 heures, puis pesées.

III.2.3. Etude de la capacité de régénération racinaire et de la reprise après transplantation

Afin d'évaluer les performances des plants de chêne liège élevés dans les dix substrats testés, cinq plants de chaque substrat ont été aléatoirement choisis et repiqués avec leur motte dans des conteneurs plus volumineux (sachets en polyéthylène d'un volume de 4000 cm³) empotés avec du sable d'oued. Après deux mois de repiquage, les racines de tous les plants ont été soigneusement débarrassées du sable et délicatement lavées afin de ne pas abimer leurs racines notamment celles nouvellement formées. La capacité de régénération racinaire a été appréciée en mesurant le nombre, la longueur et la biomasse des nouvelles racines formées à l'extérieur de la motte initiale.

Par ailleurs, afin de confirmer les résultats obtenus en pépinière, un essai de confirmation a été effectué en parcelle expérimentale sise à proximité de la pépinière d'élevage. À cet effet, neuf plants âgés d'une année ont été aléatoirement sélectionnés de chaque substrat et transplantés avec leur motte en trous de plantation de 50 cm x 50 cm x 50 cm d'arête ouverts à la pioche. La plantation a été installée selon un dispositif en blocs aléatoires complets à trois

répétitions comptabilisant un total de 90 plants. Mis à part les deux arrosages effectués en saison estivale, les plants n'ont pas été fertilisés et n'ont bénéficié d'aucun autre entretien.

La reprise des plants de chaque substrat a été déterminée après une année de transplantation en déduisant le nombre de plants morts du total des plants mis en terre. Les taux de reprise obtenus ont été utilisés pour des tests de corrélation avec les diamètres au collet et les rapports H/D des plants lors de la plantation, d'une part, et avec la capacité de régénération racinaire mesurée en pépinière, d'autre part.

III.2.4. Analyse des données

Les données relevées au cours de cette expérimentation concernant la croissance et la capacité de régénération racinaire des plants de chêne liège ont été interprétées statistiquement par une analyse de variance à un seul facteur de variation (substrat). Dans le cas où les différences étaient significatives, le test de Newman-Keuls a été utilisé pour classer les substrats par groupes homogènes au seuil de probabilité de 5 %. Par ailleurs, afin d'évaluer l'intensité de liaison entre les taux de reprise mesurés après transplantation et le diamètre au collet, le rapport H/D et la capacité de régénération racinaire mesurés en pépinière, nous avons procédé au calcul du coefficient de corrélation. Les analyses ont été effectuées par le logiciel XLSTAT.

III.3. RÉSULTATS

III.3.1. Effet du compost sur la qualité des plants de chêne liège

Les résultats obtenus de la caractérisation des substrats confectionnés et du suivi de l'évolution de la croissance des semis de chêne liège sont résumés ci-après.

III.3.1.1. Caractéristiques chimiques et physiques des substrats étudiés

Les résultats de la caractérisation physique et chimique des dix substrats étudiés sont synthétisés dans le tableau 3.2.

Tableau 3.2: Propriétés physiques et chimiques des substrats étudiés.

Paramètres	Substrats									
	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
pH	7,11	7,15	6,91	7,02	7,22	7,22	7,22	7,23	7,33	7,29
CE (mmhos/cm ³)	0,01	0,23	0,44	0,28	0,09	0,12	0,11	0,05	0,11	0,01
Carbone total (%)	4,30	48,20	46,10	45,60	32,22	25,70	29,30	19,90	15,80	17,70
Matière organique (%)	8,60	96,40	94,20	91,20	64,44	51,40	58,60	39,80	31,60	35,40
Azote total (%)	0,70	2,80	3,00	3,00	2,20	2,45	2,40	1,65	1,95	1,80
C/N	6,14	17,21	15,36	15,20	14,64	10,48	12,20	12,06	8,10	9,83
Masse volumique (g/cm ³)	0,93	0,23	0,26	0,33	0,34	0,40	0,38	0,43	0,46	0,50
Porosité totale (%)	44,66	74,80	71,20	85,50	87,60	87,20	86,40	70,00	68,00	87,20
Porosité d'aération (%)	12,00	26,66	17,86	24,40	24,40	25,20	19,60	15,20	13,60	36,00
Porosité de rétention (%)	32,66	48,13	53,33	61,10	63,20	62,00	66,80	54,80	54,4	51,20

À l'exception de la masse volumique et des porosités mesurées selon les méthodes décrites par Lamhamedi et al. 2006, les autres paramètres ont été mesurés selon les méthodes décrites par Aubert (1978).

Les valeurs de pH mesurées pour les dix substrats étudiés ont varié entre 6,91 et 7,33 indiquant des pH neutres à légèrement alcalins, alors que les valeurs de conductivité ont été légèrement différents entre les substrats et ont varié de 0,01 pour le témoin et S9 à 0,44 mS/cm pour le substrat S2. Du point de vue matière organique, avec des teneurs oscillant entre 91,2 à 96,4 % pour les essais à 100 % de compost, entre 51,4 et 64,44 % pour ceux à 80% de compost et entre 31,6 % et 39,8 % pour ceux à 60 % de compost, les substrats à base de compost étaient de loin plus riches en matière organique que le témoin avec une teneur de 8,6 %. Les teneurs en azote ont varié de 0,7 (S0) à 3 % (S2, S3). Les valeurs du rapport C/N étaient ainsi 6,14 pour le substrat témoin et de 8,10 à 17,21 pour les substrats à base de compost.

En ce qui concerne la porosité totale, les substrats à base de compost ont des porosités variant entre 70 et 87,20 % alors que le témoin a une porosité totale de 44,66 %.

Les masses volumiques apparentes des substrats ont varié avec les proportions de compost. Les masses volumiques des substrats à 100 % de compost ont varié entre 0,23 et 0,33 g/cm³, celles des substrats à 80 % de compost entre 0,34 et 0,4 g/cm³ et celles des substrats à 60 % de compost entre 0,43 à 0,5 g/cm³, alors que celle du substrat témoin était de 0,93 g/cm³.

III.3.1.2. Croissance des plants

Les résultats des mesures des hauteurs, des diamètres au collet des semis, des rapports H/D, des biomasses aériennes (PSA) et racinaires (PSR) sont respectivement synthétisés dans les figures 3.2, 3.3, 3.4 et 3.5. La figure 3.1 illustre l'aspect des plants élevés dans les dix substrats.

Bien que les valeurs mesurées lors des deux premières mesures effectuées après 60 et 100 jours du semis n'étaient pas statistiquement différentes, les plants des substrats renfermant du compost étaient visiblement plus grands que les plants du substrat témoin sans compost dès le début de l'expérimentation. À la fin du cycle d'élevage, les plants élevés dans les substrats à base de compost ont atteint des hauteurs oscillant entre 29,15 et 39,90 cm et des diamètres oscillant entre 3,89 et 4,49 mm alors que les plants du témoin n'ont atteint que 20,75 cm en hauteur et 3,14 mm en diamètre. Pour ce qui est du rapport hauteur-diamètre, les plants des substrats à base de compost ont affiché des rapports oscillant entre 7,67 et 9,56 alors que les plants du témoin affichaient le rapport le plus bas avec une valeur de 6,6. Il apparaît aussi pour les biomasses aériennes que les substrats renfermant du compost ont produit plus de matière sèche avec des valeurs oscillant entre 3,07 et 5,65 g/MS que le témoin sans compost avec une valeur de 2,24 g/MS.



Figure 3.1 : Aspect des plants des dix substrats en fin de cycle d'élevage en pépinière.

Pour les biomasses racinaires, ce sont les substrats à base de 80 % de compost qui ont donné les meilleures productions de matière sèche. D'une manière générale, on peut constater que parmi les trois composts, ceux contenant des fientes de volailles ont donné les meilleurs résultats pour l'ensemble des paramètres de croissance mesurés.

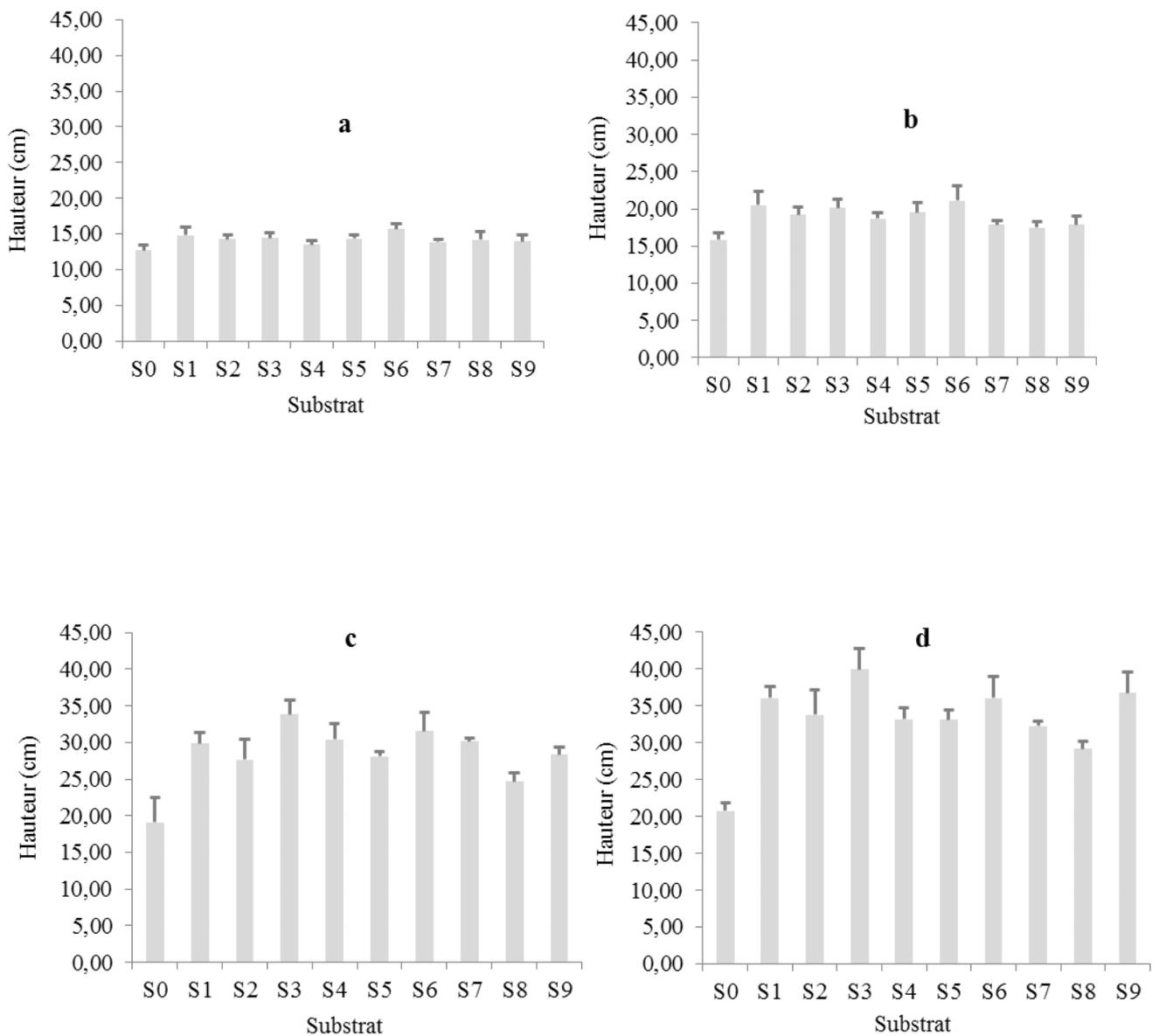


Figure 3.2 : Evolution des hauteurs des plants de chêne liège au cours d'élevage. *a* : hauteurs mesurées après 60 jours du semis ; *b* : après 100 jours ; *c* : après 140 jours ; *d* : après 190 jours. Les résultats affichés sont les moyennes des hauteurs mesurées sur un échantillon de 25 % des plants/substrat. Les valeurs sont exprimées en moyenne \pm incertitude. Les barres comportant des lettres différentes indiquent que les hauteurs correspondantes sont statistiquement différentes (Newman-Keuls, 5 %)

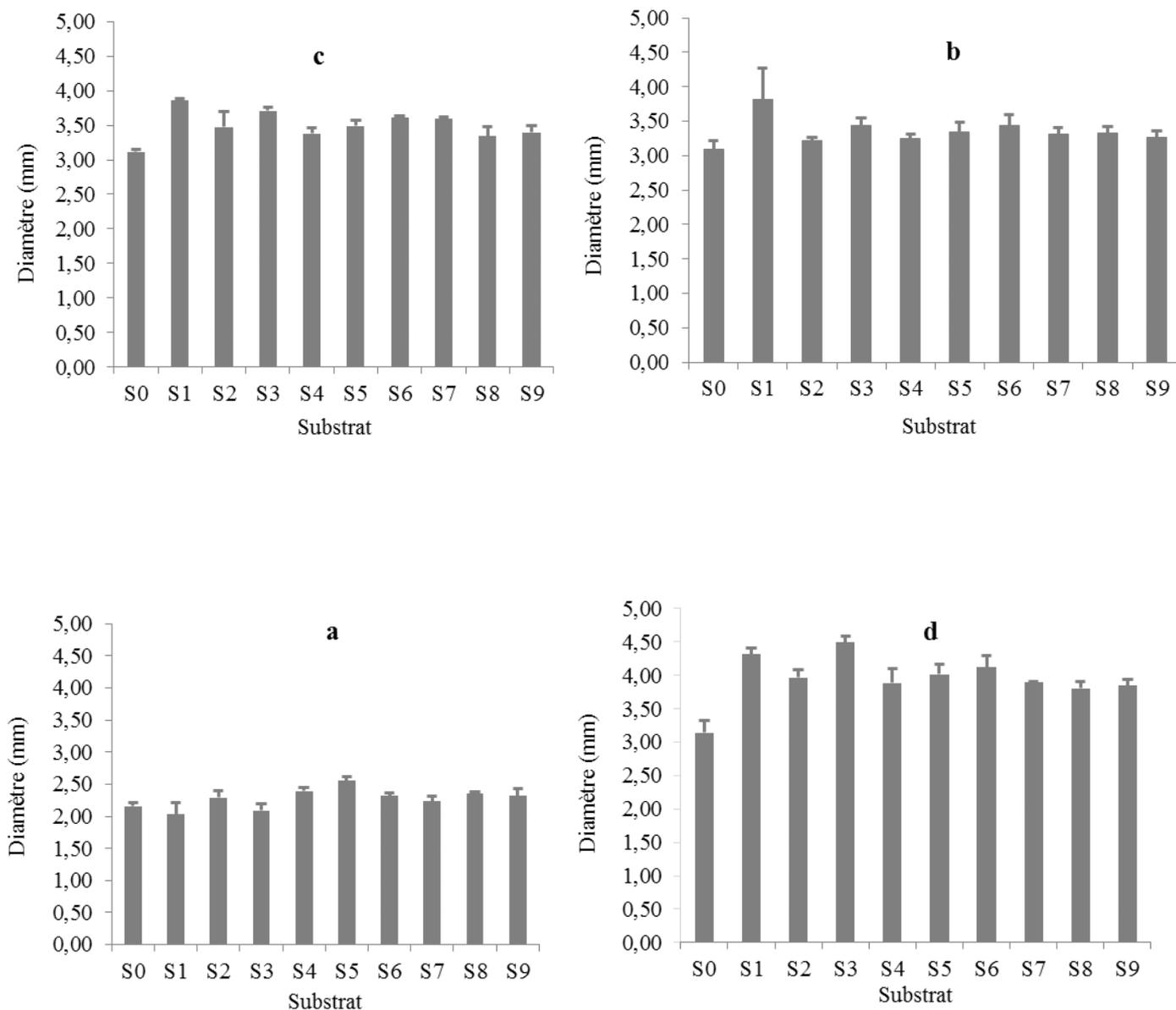


Figure 3.3 : Evolution des diamètres au collet des plants de chêne liège au cours d'élevage. a : diamètres mesurés après 60 jours du semis ; b : après 100 jours ; c : après 140 jours ; d : après 190 jours. Les résultats affichés sont les moyennes des diamètres mesurés sur un échantillon de 25 % des plants/substrat. Les valeurs sont exprimées en moyenne \pm incertitude. Les barres comportant des lettres différentes indiquent que les hauteurs correspondantes sont statistiquement différentes (Newman- Keuls, 5 %).

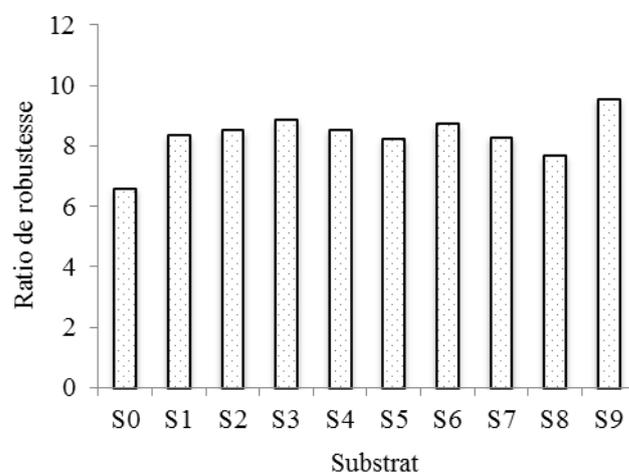


Figure 3.4 : Ratios de robustesse des plants de chêne liège en fin du cycle d'élevage. Les valeurs affichées sont les moyennes calculées pour un échantillon de 25 % des plants de chaque substrat.

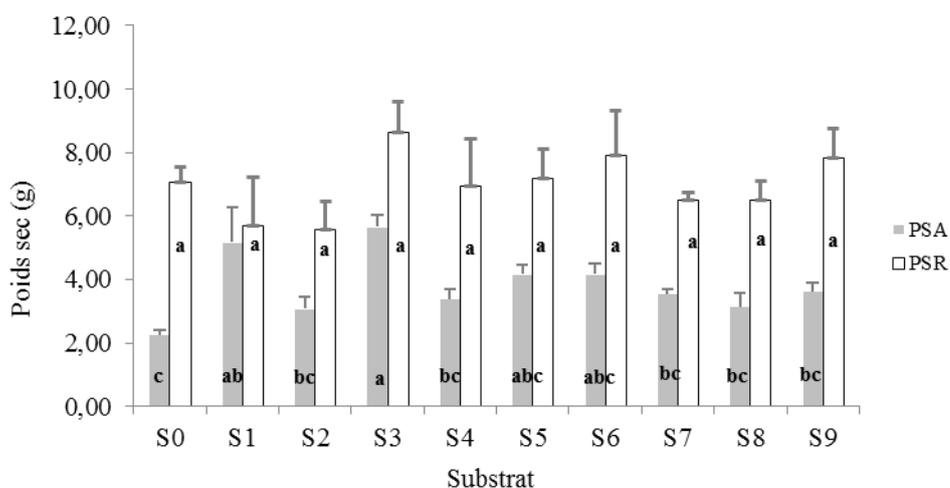


Figure 3.5 : Production de matière sèche des parties aérienne et racinaire des plants de chêne liège en fin du cycle d'élevage. PSA : matière sèche des tiges ; PSR : matière sèche des racines. Les valeurs sont exprimées en moyenne \pm incertitude. Les barres comportant des lettres différentes indiquent que les hauteurs correspondantes sont statistiquement différentes (Newman-Keuls, 5 %).

III.3.2. Capacité de régénération racinaire et reprise après plantation

Les résultats obtenus concernant l'émission de nouvelles racines chez les plants de chêne liège des dix substrats après repiquage dans du sable sont rapportés dans le tableau 3.3.

Tableau 3.3 : Capacité de régénération racinaire des plants de chêne liège.

Substrats	Nombre de nouvelles racines	Longueur moyenne (cm)	Biomasse totale (g)
S0	22 a	19,68 ± 3,11 a	0,28 ± 0,09 b
S1	30 a	29,50 ± 2,81 a	1,11 ± 0,42 ab
S2	23 a	27,52 ± 1,73 a	0,50 ± 0,09 ab
S3	33 a	28,62 ± 3,78 a	0,51 ± 0,08 ab
S4	34 a	31,43 ± 1,73 a	1,32 ± 0,35 a
S5	24 a	24,60 ± 1,55 a	0,47 ± 0,07 ab
S6	30 a	21,48 ± 2,82 a	0,81 ± 0,06 ab
S7	18 a	23,53 ± 3,21 a	0,46 ± 0,06 ab
S8	22 a	27,37 ± 2,88 a	0,40 ± 0,06 ab
S9	21 a	28,23 ± 4,60 a	0,80 ± 0,24 ab

Pour chaque paramètre, les valeurs (moyenne ± incertitude) suivies de lettres différentes sont statistiquement différentes (Newman-Keuls, 5%).

L'évaluation de la capacité de régénération racinaire a montré que tous les plants ont émis de nouvelles racines à l'extérieur de la motte initiale. Le nombre de nouvelles racines émises a varié entre 18 et 34 (Tableau 3.3). Entre les trois composts, le nombre le plus élevé de nouvelles racines émises a été enregistré dans les substrats à 100 % et 80 % de compost avec fiente de volailles et le compost sans intrant. Les meilleurs allongements ont été obtenus chez les plants des substrats à base de compost avec des moyennes variant de 21,48 à 31,43 cm contre 17,18 cm chez les plants du témoin. Les nouvelles matières sèches racinaires produites étaient alors de 0,47 à 1,32 g pour les plants élevés en compost contre 0,28 g pour les plants du témoin. Ces résultats ont été confirmés par les taux de reprise des plants subséquentment mesurés après une année de transplantation sur le terrain (Figure 3.6).

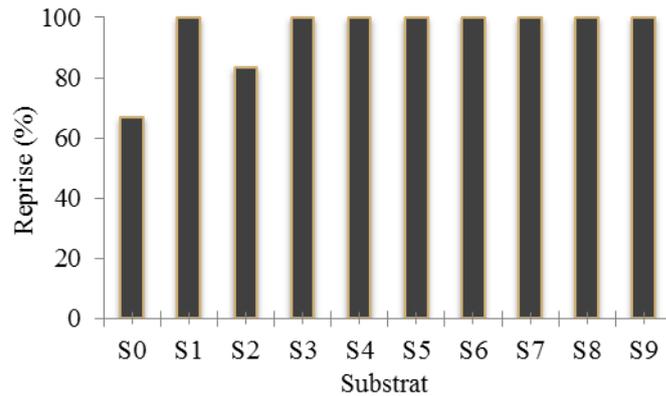


Figure 3.6: Taux de reprise des plants des dix substrats après une année de transplantation.

Avec des taux compris entre 83,33 et 100 %, la reprise des plants des substrats à base de compost était bien plus élevée que celle des plants du substrat témoin sans compost affichant un taux de reprise de 66,66 %. Les coefficients de corrélation calculés montrent, par ailleurs, que la reprise des plants a été positivement corrélée avec les diamètres au collet ($r = 0,83$), les ratios H/D ($r = 0,69$) et avec la capacité de régénération racinaire exprimée en poids sec des racines néoformées ($r = 0,46$).

III.4. DISCUSSION

Les travaux menés dans le cadre de ce travail ont permis de produire dans la première phase un compost à partir de broyat de branches d'*Acacia cyanophylla* avec ou sans intrant : broyat d'*Acacia* sans intrant, broyat + urée et broyat + fientes de volailles. Le suivi de l'évolution des températures a montré que l'ajout de l'urée à l'andain (AC+U) a stimulé le processus de compostage pour cet andain qui a atteint le stade de maturation au 80^{ème} jour, alors que la maturation des deux autres andains n'a été atteinte qu'après 100 jours de compostage. Ce résultat concorde avec des travaux antérieurs (Verdonck, 1983 ; Lemaire et al. 1989) ayant montré que l'ajout d'une source minérale d'azote comme les nitrates d'ammonium avait bien stimulé le compostage d'écorces et de broussaille forestière. Cette rapide maturation du compost nous permis aussi de suggérer que *i*) la saison printanière était propice au compostage *ii*) les dimensions des andains adoptées dans cette expérimentation étaient adéquates *iii*) la conduite en termes de retournements et arrosages était efficace.

La germination des graines de lentille semées dans les trois composts était supérieure à 80 % témoignant l'absence de tout effet phytotoxique. De plus, l'absence d'odeur d'ammoniac ou

de gaz malodorants, levée rapide et homogène des semis de lentille avec absence de signes d'effet dépressif (phytotoxicité, carence) sont aussi de bons indicateurs d'une maturité suffisante des trois composts élaborés dans cette étude. Un taux de germination de plus de 50 % est souvent considéré comme caractéristique d'un compost mûr et sans effet phytotoxique (Zucconi et al. 1981).

Une baisse significative du volume des trois andains a été observée dans le temps résultant du tassement des andains suite à la dégradation progressive de la matière végétale. La réduction de volume a été de l'ordre de 50 % pour l'andain AC+U et environ 60 % pour les andains AC et AC+F. Le rendement net après criblage à 10 mm a été de 45 % pour l'andain AC+U et de 50 % pour les andains AC et AC+F. En termes de rendement par hectare, un hectare d'*Acacia cyanophylla* d'une densité de 1000 arbres/ha pourrait fournir 555 m³ de compost prêt à l'utilisation. Cette quantité de compost permettrait de produire 1 387 500 plants en conteneur WM de 400 cm³ ordinairement utilisé en pépinière.

Les trois composts produits ont été par la suite utilisés dans la confection de substrats de culture pour l'élevage de plants de chêne liège en hors sol. Les résultats de la caractérisation physique et chimique des dix substrats testés étaient, dans l'ensemble, en faveur des substrats renfermant du compost par rapport au témoin sans compost. Les pH des dix substrats ont varié entre 6,91 et 7,33 les classant ainsi dans l'intervalle de neutralité. Ces valeurs en concordance avec ceux d'Ammari et al. (2003), sont dans l'intervalle souhaitable pour la culture hors sol (Argillier et al. 1991 ; Foucard, 1994). Avec des teneurs en matière organique dépassant les 90 %, les substrats à base de composts ont été plus riches par rapport au témoin ayant affiché une teneur de 8,6 %. Ces valeurs comparables à ceux de Guedira et al. (2011) ont conféré aux trois composts une valeur amendante appréciable. Pour ce qui est des teneurs en azote, les substrats à 100 % de compost (S1, S2 et S3) étaient plus riches que les autres substrats. À l'exception du substrat témoin ayant affiché un rapport en deçà des valeurs citées dans ce domaine, les rapports C/N calculés étaient, dans l'ensemble, dans l'intervalle souhaitable pour des valorisations agronomiques. Les valeurs du rapport C/N des substrats composés à 100 % de compost S1 (17,21), S2 (15,36) et S3 (15,20) ont confirmé, en outre, la maturité suffisante des trois composts élaborés.

En déterminant l'espace disponible dans le conteneur d'élevage pour l'air, l'eau et la croissance des racines, la porosité est l'une des plus importantes propriétés physiques des substrats.

À l'exception du témoin ayant une porosité totale inférieure au standard ($50 < P_t < 60$ %) préconisé pour ce paramètre (Lamhamedi et al. 2006), les substrats à base de compost ont des porosités très satisfaisantes. Les substrats à base de compost S1, S4, S5, S6 et S9 ont, particulièrement, donné des porosités d'aération et de rétention très proches aux normes. En permettant une aération adéquate et une rétention plus efficiente d'eau et de nutriments, minimisant par conséquent le lessivage des substrats, de telles valeurs de porosité ont procuré de meilleures conditions de croissances en hors sol aux plants. En concordance avec M'Sadak et al. (2012), le criblage du compost mûr à la maille de 10 mm x 10 mm permet d'obtenir un matériau d'une porosité suffisante pour l'élevage en hors sol des plants. Toutefois, du point de vue consistance de la motte, les substrats renfermant 100 % et 80 % de compost ont permis une meilleure cohésion de la motte que les substrats renfermant 60 % de compost.

Les masses volumiques apparentes des substrats à 100 % de compost étaient logiquement moins élevées que celles des autres substrats. Le substrat témoin était le plus dense ($0,93 \text{ g/cm}^3$). D'un point de vue pratique, la faible densité des substrats à base de compost, et par conséquent leur légèreté, facilite la manutention des caissettes en pépinière et lors des déplacements en chantier de reboisement par rapport au substrat témoin plus lourd. Une caisse en plastique contenant 40 conteneurs WM (400 cm^3) empotés avec du compost d'*Acacia cyanophylla* pèse 12 kg alors qu'elle pesait 23 kg avec le substrat témoin (50 % humus + 50 % granulés de liège).

En termes de croissance en pépinière, les substrats à base de compost étaient plus performants que le substrat témoin avec des différences statistiquement significatives pour les paramètres dimensionnels et pondéraux étudiés. Les substrats à base de compost ont permis de réaliser des gains significatifs de croissance allant de 28 à 48 % en hauteur, de 17 à 30 % en diamètre et de 15 % en biomasse sèche par rapport aux plants du témoin. Bien que les plants des substrats à base de compost d'*Acacia* + fientes de volailles ont affiché une légère supériorité pour tous les caractères mesurés, les plants produits dans du compost ont répondu aux normes de qualité citées pour cette espèce (Lamhamedi et al. 2000).

Le faible développement des plants dans le substrat témoin peut être attribué aux propriétés physiques et chimiques peu convenables et à la compétition exercée par les adventices colonisant ce substrat par rapport aux substrats à base de compost. En effet, le compostage a un effet négatif sur la germination des adventices (Grundy et al. 1998) et le développement de plusieurs champignons pathogènes (Fuchs et Larbi, 2005) affectant négativement la qualité des plants (Lamhamedi et al. 2000). Des études (Fuchs et Larbi, 2005 ; Hoitink et al. 1997) ont montré, en outre, que le compost de qualité permet de produire des plants plus résistants aux pathogènes par rapport aux plants produits dans d'autres substrats.

L'émission de nouvelles racines constitue un bon indicateur de performance des plants après transplantation (Kaushal et Aussenac, 1989). C'est l'un des tests de performance les plus utilisés (Landis et al. 2010). Les résultats obtenus dans cet essai ont montré que tous les plants ont émis de nouvelles racines à partir des apex racinaires cernés au contact de l'air. Les plants élevés dans les substrats à base de compost ont généré plus de masse racinaire (0,70 g/MS en moyenne) que les plants élevés dans le témoin (0,28 g). Les nouvelles racines se sont développées plutôt en profondeur confirmant le caractère pivotant pour les racines de cette espèce. Cette rapide croissance en profondeur permet aux racines d'atteindre rapidement les horizons inférieurs plus humides augmentant le potentiel de survie sous les conditions particulièrement sèches du climat méditerranéen.

La reprise sur terrain des plants des différents substrats était très satisfaisante dans l'ensemble. Le taux moyen de reprise était de 95 %, lequel dépasse de loin les taux de reprise enregistrés dans les reboisements de cette espèce. La reprise était plus élevée chez les plants élevés en compost (98,14 %) que chez les plants du témoin (66,66 %). Cette performance des plants des substrats à base de compost par rapport aux plants du témoin a véritablement confirmé la supériorité de régénération racinaire observée en phase pépinière. En outre, le test de corrélation réalisé a montré que la reprise des plants était positivement corrélée avec les variables diamètre au collet ($r = 0,83$), rapport H/D ($r = 0,69$) et capacité de régénération racinaire ($r = 0,46$). Bien que le lien avec le diamètre au collet était plus élevé qu'avec le rapport H/D et la capacité de régénération racinaire, on peut admettre que les paramètres diamètre au collet, H/D et capacité de régénération racinaire peuvent être considérés pour prédire la reprise des plants de cette espèce après transplantation partout où les conditions pédoclimatiques correspondent à celles de notre site expérimental car, en effet, la relation vigueur des plants en pépinière et performance après plantation reste tributaire des conditions

du milieu où les plants sont transplantés (Simpson et Ritchie, 1997), et c'est à ce propos que notre résultat contredit celui de Trubat et al. (2010) stipulant que la performance des plants de chêne liège après transplantation n'est pas corrélée avec la capacité de régénération racinaire observée en pépinière.

III.5. CONCLUSION

Les résultats obtenus à l'issue des trois phases de cette étude ont montré que des améliorations qualitatives significatives ont été enregistrées chez les plants de chêne liège élevés dans les substrats à base de compost par rapport aux plants du témoin. En effet, les plants élevés dans le compost étaient nettement mieux développés en pépinière et plus performants sur le terrain. Les trois composts produits peuvent donc être utilisés pour l'élevage des plants de chêne liège de bonne qualité. Toutefois, compte tenu des performances rapprochées des trois composts élaborés dans cette étude et pour des raisons purement économiques, on peut se contenter du compostage sans intrant. Par ailleurs, en plus de meilleures conditions de croissance offertes aux plants de chêne liège par le compost d'*Acacia cyanophylla* par rapport au substrat classique, l'élevage en compost permet de minimiser les coûts liés à la lutte contre les mauvaises herbes et les pathogènes associés à l'élevage dans l'humus forestier. De plus, au vu de son caractère invasif et des superficies récemment plantées en *Acacia cyanophylla*, l'approvisionnement en matière verte à composter ne pose pas problème. Pour toutes ces raisons, le compost d'*Acacia cyanophylla* constitue donc une solution raisonnable et peut avantageusement remplacer l'humus forestier dans la confection des substrats destinés à l'élevage des plants de chêne liège.

CHAPITRE 4

**SEED WEIGHT AND CONTAINER CAPACITY EFFECTS ON
EMERGENCE AND EARLY GROWTH OF THE
MEDITERRANEAN OAK (*QUERCUS SUBER* L.) SEEDLINGS IN
NURSERY.**

Résumé

Effet du poids du gland et du volume du conteneur sur l'émergence et la croissance initiale des plants du chêne méditerranéen (Quercus suber L.) en pépinière. L'objectif de cette étude était d'évaluer l'effet du poids du gland et du volume du conteneur sur la croissance et la qualité des plants de chêne liège en phase pépinière. Les plants ont été élevés à partir de glands de poids connus et semés en conteneurs de type WM de trois volumes 400, 800 et 1200 cm³ empotés avec du compost d'*Acacia cyanophylla* Lindl. La qualité des plants a été évaluée sur la base de mesure de plusieurs paramètres incluant vitesse et taux de levée, hauteur et diamètre des plants, poids sec des tiges et des racines sur un échantillon de trente plants sélectionnés aléatoirement parmi les plants levés dans chaque traitement. Les résultats montrent dans l'ensemble que la croissance des plants est plutôt influencée par le volume du conteneur que par le poids de glands. Le conteneur 1200 cm³ a permis d'enregistrer les taux de croissance les plus élevés par rapport aux conteneurs de 800 et 400 cm³. Toutefois, la plus forte croissance en large conteneur a été au détriment de la qualité. En effet, les semis cultivés dans un grand conteneur de type MW ont montré les valeurs de croissance les plus élevées tout au long de la phase pépinière mais, malheureusement, pas les meilleurs indices de qualité. L'élevage de plants de chêne liège en conteneurs de plus de 400 cm³ en volume ne serait justifié que par une amélioration de la qualité des plants produits et de leur performance après plantation.

Mots clés : Chêne liège, pépinière, poids de gland, volume du conteneur, qualité des plants.

Abstract

The goal of this study was to assess the effects of seed weight and container capacity on cork oak seedling growth and attributes during nursery cultivation. Seedlings were grown from seeds of known weights sown in three WM type containers of 400 cm³, 800 cm³ and 1,200 cm³ filled with a compost of *Acacia cyanophylla* Lindl. Seedling quality was evaluated through some growth parameters including seedling emergence time and percentage, seedling height and collar diameter, shoot and root dry weight measured on thirty seedlings per container type randomly selected after seedling emergence was completed. The results showed that seedling emergence and growth were rather influenced by container size than seed weight. The 1200 cm³ container had the highest values for all growth parameters throughout the nursery period while the 400 cm³ had the smallest values; the 800 cm³ being intermediate. However, increasing container volume improved much more growth than quality in cork oak seedling. In fact, seedlings grown in large WM type container showed the highest growth values throughout the nursery period but, unluckily, not the best quality attributes. Thus, breeding of cork oak seedlings in containers up to 400 cm³ in capacity will be justified only if planting stock produced in such a way will result in high quality seedlings with high outplanting success.

Key words: Cork oak, nursery, seed weight, container capacity, seedling quality.

IV.1. INTRODUCTION

Cork oak (*Quercus suber* L.) is one of the most original tree species of the Western Mediterranean region where it covers more than two million hectares (Houston Durrant et al. 2016). In Algeria, this evergreen woody species occupies areas of ecological and socio-economical interests extending over an extensive area of about 357, 582 hectares (Abbas, 2013), mainly located in the North-East of the country on mountains of the Tellian Atlas on varying altitude, aspect and slope. However, despite their importance, the combined effects of human impacts and water stress, along with a lack of management practices adapted to the species have resulted in a deficiency of natural regeneration. To address this worrying situation, foresters have resorted to artificial regeneration through planting of container-grown seedlings. Accordingly, efforts were deployed but survival rates were in most cases very low as elsewhere for other Mediterranean oak species (Pausas et al. 2004; Villar-Salvador et al. 2004). These unsuccessful reforestations may be due to the combined action of the harsh site conditions of the Mediterranean environment, the low quality of the planted seedlings, the rough-handling of seedling from nursery to plantation site, the inappropriate site preparation and the lack of post-planting maintenance.

Planting quality seedlings with high survival capability, which is closely depended on the nursery techniques, is one important aspect of a successful forest restoration program (Grossnickle, 2012). Nursery cultivation regimes can strongly determine the functional characteristics of seedlings and their field performance (Villar-Salvador et al. 2004). Besides irrigation management, fertilizer application and shading, the type and size of the container exert a significant impact on plant quality (Landis et al. 1990; Bernaola Paucar et al. 2016) and production costs. The optimum container size varies according to many different factors, including species, growing density, environmental conditions and length of the growing season (Tian et al. 2017). In general, as container size increases plant leaf area, shoot biomass and root biomass increase (Cantliffe, 1993). Optimal transplant root growth depends on favorable soil or media conditions including water, fertility, and the physical rooting environment (Leskovar et al. 1990). In general, for better quality of oak seedlings narrow, deep bottom opened containers are recommended (Tsitoni and Tsakalimi, 2015). Moreover, transplanting survival of species with strong taproots, such as oaks, increases when cultivated in deep containers than in shallow containers (Dominguez Lerena, 1999). Although several seedling attributes have been used to predict seedling performance in the field, there is no general agreement about the suitable plant morphology for Mediterranean environment

(González-Rodríguez et al. 2011a). No relationship was observed, in most cases, between survival or growth and plant size (Trubat et al. 2010; Villar-Salvador et al. 2010). Moreover, decreasing survival with increasing seedling sizes were observed in Mediterranean dry areas (Trubat et al. 2011; Puéttrolas et al. 2012).

Although planting high quality seedlings does not guarantee successful seedling establishment, it may increase chances for successful establishment and growth (Grossnickle and MacDonald, 2018). Thus, nurserymen should produce high-quality seedlings. The effect of planting poor quality stock can last for many years or it can be apparent only many years late after planting, as it occurs with root deformations that can reduce tree stability over the long-term (Lindström and Rune, 1999). Moreover, one of the most serious problems with containers (especially for the seedlings with tap roots) is the tendency of root spiraling around the inside of the container when round, smooth-walled plastic containers were used (Tsakaldimi et al. 2005), which can seriously reduce seedling quality and field performance after planting (Tian et al. 2017).

In the past, the failures on cork oak reforestation projects were largely attributed to the low quality of the planted seedlings in particular with regard to their roots exhibiting detrimental deformities resulting from cultivation on polyethylene bag of a closed-bottomed cylindrical shape. These root anomalies have been resolved by the out of ground seedbed production system associating anti-spiraling WM type containers made of thin plastic with dihedral ridges (Reidacker, 1977). Although this system potentially allows air root-pruning which favours a more fibrous root system as well as a significant reduction of detrimental root deformities, there is little information about the ideal volume of this container type that allows better root and shoot attributes; the WM type container of 400 cm³ was empirically used.

Despite homogenous growth conditions for cork oak seedling cultivation in nursery, difference in seedling size remains observed throughout the nursery growing period. This size difference may be attributed to the acorn size variability often observed amongst seed sources, amongst contiguous trees and even within individual tree. The strong effect of acorn size on seedling size and outplanting performance has important practical implications for the collection and selection of acorns used in oak forest restoration projects (Shi et al. 2019). The positive effect of acorn size on seedling performance is mainly explained by the seedling size effect (Westoby et al. 1996; Leishman et al. 2000). Small acorns are expected to give small

seedlings, while large acorns, though difficult to seed into most standard forest containers, they result in large seedlings, which have greater capacity to resist stress than small seedlings (Shi et al. 2019). However, exceptions to this are so commonly encountered in oaks (Korstian, 1927; McComb, 1934; Jarvis, 1963; Olson, 1974; Bonner, 1987), that a generalized statement about the relationship cannot be made (Kormanik et al. 1998). To determine if the relationship seed-seedling holds for *Q. suber*, we conducted the nursery experiment here presented using acorns collected from a tree that produced a wide variety of acorn weights.

Given the above, the goal of this study was therefore to assess the effects of seed weight and container size on cork oak seedling growth and attributes during nursery cultivation. The approach consisted on the assessment of seedling quality from seed to seedling in homogenous cultivation regime (growing medium, sowing date, irrigation) to explore at which seedling size and attribute any potential seed weight and/or container size effects can be shown. Although limited to the nursery phase, the results should have practical implications for cork oak seedling cultivation that could contribute to better seedling outplanting performance.

IV.2. MATERIAL AND METHODS

IV.2.1. Seed collect and handling

Acorns used in the experiment were hand-collected in November 2014 from a seed source located in Kissir region in the east of Algeria (36°79' N, 5°66' E). After harvest, apparently mature and healthy acorns were selected. Each acorn was marked with a number using a permanent marker and weighted with an analytical balance sensitive to 1 mg for seed weight. Acorns were then stored in a cold chamber (0- 2°C) until experiment started in April 2015.

IV.2.2. Seedling cultivation

The experiment was conducted in April 2015 at the regional forest research station of Jijel (36°47'30.53"N, 5°39'59.52"E, at an elevation of 19 m a.s.l, 18°C annual average temperature and 1100 mm annual rainfall). Ungerminated acorns and without any apparent damage were selected from the stored ones. Prior to sowing, the seeds were put to germinate in moist sawdust in laboratory environment. The germinated acorns were then individually sown in three container type WM of 400 cm³ (17 cm deep with top opening 25 cm²), 800 cm³ (19 cm deep with top opening 42 cm²) and 1200 cm³ (20 cm deep with top opening 58 cm²) potted with a compost of *Acacia cyanophylla*. The three containers allow respective growing

densities (seedlings.m⁻²) of 240, 144 and 90. The container of 400 cm³ usually used in nurseries was designed as the control in the experiment.

The containers carrying the corresponding acorns numbers were arranged at random in perforated plastic boxes which were randomly placed on benches elevated at 30 cm from the surface of the ground allowing root air-pruning. As randomly processed, all seed size were represented within the three containers of 400 cm³ (min=3.65g, max=9.87g, mean=6.18±1.79, CV=29.02), 800 cm³ (min=4.36g, max=11.13g, mean=7.17±1.67, CV=23.39) and 1200 cm³ (min=4.12g, max=9.64g, mean=6.26±1.55, CV=24.80).

IV.2.3. Experimental design, sampling and measurement

Nursery trials were arranged according to a completely randomized block with three replications, each container type was represented by three plastic boxes. The boxes used can contain 40 containers of 400 cm³, 24 containers of 800 cm³ and 15 containers of 1200 cm³. Thus, the experiment contains 237 acorns. To evaluate the effects of acorns weight and container volume on seedling morphological attributes, several growth parameters were measured including seedling emergence time and percentage, seedling height and diameter, shoot and root dry weight. Emergence was considered by the expansion of the cotyledons and was daily recorded for all sown seeds. From the data, emergence time (days) and percentage were derived. After emergence was completed, thirty (10 x 3) seedlings per container type were randomly selected and marked for later growth measurements. Shoot height (H, cm) and root collar diameter (D, mm) were measured for 30 seedlings randomly harvested from each container capacity at 60, 120 and 180 days after sowing. The heights and diameters were then used to calculate the sturdiness quotient (SQ) and the growth increments. For biomass measurements, all harvested seedlings were carefully removed from containers at the end of the experiment, their roots were delicately washed and cleaned free of grown medium. Seedlings were then divided in shoot and root parts. Each part was packed in a separate aluminum paper and oven dried at 105°C for 24 hours and weighed with an analytical balance sensitive to 1 mg for shoot dry weight (SDW), root dry weight (RDW) and total dry weight (TDW). The shoot to root dry matter ratio (SDW/RDW) was then calculated for the harvested seedlings. A Dickson quality index (DQI) was also calculated using the formula: $DQI = \text{Seedling dry weight (TDW)} : (\text{SQ} + \text{SDW/RDW})$ (Dickson et al. 1960).

IV.2.4. Data analysis

In the case of seed weight effects, each seed was treated as an experimental unit (Cochran and Cox, 1992; Schrader and Graves, 2005). Pearson's correlation coefficients (r) were calculated within each container size to determine the relationship that existed between acorn weight, emergence time and percentage and all measured seedling attributes. A one-way ANOVA (Container capacity factor) was performed to examine the effects of container capacity on seedling emergence and growth irrespective of seed weight. Significant differences were determined by Newman-Keuls multiple ranking test at the 5 % level of significance. All the statistics were performed using the XLSTAT statistical software package and the results are reported as mean \pm standard error.

IV.3. RESULTS

IV.3.1. Seedling emergence time and percentage

Overall, seedling emergence time was 23.95 days on average and seedling emergence percentage was 80.46% on average (Figure 4.1). Although no significant correlations were showed between emergence time and seed weight in the three containers of 400 cm³ ($r = 0.310$), 800 cm³ ($r = -0.065$) and 1200 cm³ ($r = -0.023$), the ANOVA test was highly significant about the container size effect ($P < 0.001$). The emergence was faster in the 1200 cm³ container (19.40 days) than in the 800 cm³ (24.94 days) and the 400 cm³ (27.52 days).

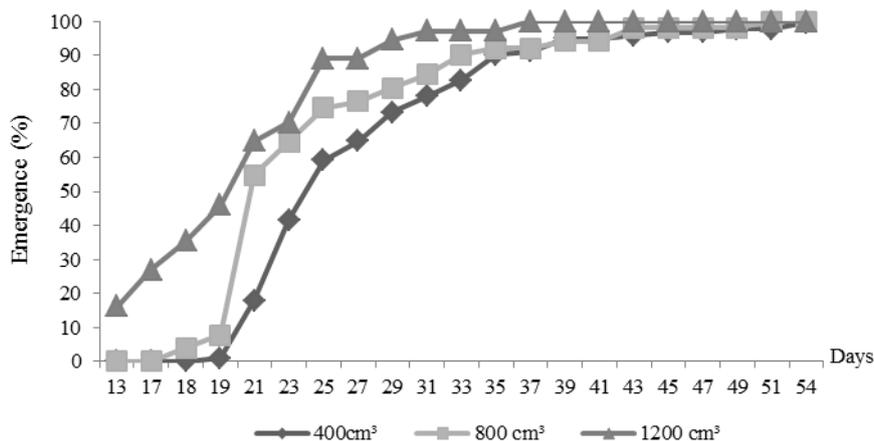


Figure 4.1: Emergence percentage and time of seedlings grown in the three containers size.

IV.3.2. Height and collar diameter growth

The mean height and root collar diameter of the seedlings at 60, 120, and 180 days after sowing are presented in table 4.1. During the first measurement date (60 days after sowing), moderate correlations were found between seed weight and seedlings height in the three container size of 400 cm³ ($r = 0.478$), 800 cm³ ($r = 0.243$) and 1200 cm³ ($r = 0.367$). The collar diameter was moderately correlated with seed weight in 400 cm³ ($r = 0.376$) and 1200 cm³ ($r = 0.224$) and positively correlated in 800 cm³ ($r = 0.691$).

At the second measurement date, the correlation levels seed-seedling height and seed-seedling diameter were maintained in 400 cm³ and decreased in 1200 cm³ and in 800 cm³. The ANOVA showed significant differences for height ($r = 0.800$, $P < 0.001$) and collar diameter ($r = 0.424$, $P < 0.001$) among the three container capacities. Seedling growth was higher in the 1200 cm³ container than in 800 cm³ and 400 cm³ containers. Height growth increments achieved at the second measurement date were more pronounced in 1200 cm³ (35.20 ± 1.20 cm) as compared to 800 cm³ (21.0 ± 1.24 cm) and 400 cm³ (14.89 ± 1.02 cm). Likewise, diameter growth increments were highest in 1200 cm³ (1.79 ± 0.13 mm) as compared with 800 cm³ (1.50 ± 0.10 mm) and 400 cm³ (1.19 ± 0.08 mm). At 180 days after sowing, the correlations between seed weight and height were maintained. A low correlation was observed between seedling diameter and container capacity ($r = 0.467$), whereas a height positive correlation was observed between container capacity and seedling height growth ($r = 0.810$). Seedlings grown in 1200 cm³ were significantly the highest (63.08 ± 1.74 cm), followed by seedlings grown in 800 cm³ (45.33 ± 1.47 cm) and seedlings grown in 400 cm³ (39.05 ± 0.92 cm). The collar diameter of seedlings grown in the container of 400 cm³ were significantly the smallest (4.28 ± 0.09 mm), whereas seedlings of the containers of 800 cm³ and 1200 cm³ capacities showed similar diameters of 5.07 ± 0.26 mm and 5.49 ± 0.26 mm respectively. Seedlings of 1200 cm³ showed the highest increment value (1.08 ± 0.17 mm) followed by seedlings of 800 cm³ and 400 cm³ (0.77 ± 0.06 and 0.63 ± 0.07 mm, respectively).

Table 4.1. Container effects on height growth, collar diameter and the ratio of height to diameter (SQ) of *Quercus suber* L. seedlings at 60, 120 and 180 days after sowing.

Container	N	Height (cm)			Collar diameter (mm)			SQ		
		60 d	120 d	180 d	60 d	120 d	180 d	60 d	120 d	180 d
400 cm ³	30	20.79±1.08 ^a	35.68±0.95 ^c	39.05±0.92 ^c	2.55±0.08 ^a	3.74±0.09 ^b	4.28±0.09 ^b	8.24±0.42 ^a	9.63±0.29 ^b	9.23±0.29 ^b
800 cm ³	30	23.67±0.86 ^a	44.66±1.52 ^b	45.33±1.47 ^b	2.85±0.07 ^a	4.36±0.11 ^a	5.07±0.26 ^a	8.28±0.23 ^a	10.35±0.38 ^b	9.0±0.29 ^b
1200 cm ³	30	23.27±1.05 ^a	58.46±1.80 ^a	63.08±1.74 ^a	2.68±0.07 ^a	4.48±0.16 ^a	5.49±0.26 ^a	8.64±0.29 ^a	13.40±0.52 ^a	11.97±0.49 ^a
<i>F</i>		2.42 ^{NS}	61.03***	77.22***	2.79 ^{NS}	9.52**	12.17***	0.43 ^{NS}	24.79***	21.18***

N: number of seedlings. The data are means ±SE. Within the same column the means followed by the same letter were not significantly different by Newman-Keuls test. NS: non-significant, ** and *** indicate significant effects at $p < 0.01$ and $p < 0.001$, respectively.

The SQ and seed weight were poorly correlated in the containers of 400 cm³ and 1200 cm³ and negatively correlated in the container of 800 cm³ (Table 4.3). Irrespective of the seed weight, the sturdiness quotients were non different (P = 0.64) between the three containers of 400cm³, 800 cm³ and 1200 cm³ at the first evaluation date, significantly different (P<0.001) at the second and the third evaluation dates.

IV.3.3. Total, shoot and root dry weight and quality index

The mean seedling dry weight, shoot dry weight, root dry weight, the ratio shoot to root dry weight and the Dickson quality index measured at 180 days after sowing are presented in table 4.2.

Table 4.2: Container effects on biomass production of *Quercus suber* L. seedlings.

Container	N	TDW (g)	SDW (g)	RDW (g)	RDW:SDW	DQI
400 cm ³	30	5.24±0.30 ^c	2.24±0.12 ^c	2.99±0.21 ^b	0.81±0.06 ^b	0.55±0.03 ^b
800 cm ³	30	9.0±0.45 ^b	4.09±0.20 ^b	4.91±0.31 ^a	0.93±0.08 ^b	0.95±0.05 ^a
1200 cm ³	30	11.54±0.76 ^a	6.60±0.51 ^a	4.94±0.31 ^a	1.40±0.09 ^a	0.94±0.07 ^a
<i>F</i>		34.37***	44.51***	15.47***	15.65***	14.76***

The data are means ±SE. N: number of seedlings. Within the same column the means followed by the same letter were not significantly different by Newman-Keuls test. ** and *** indicate significant effects at $p < 0.01$ and $p < 0.001$, respectively.

The total dry weight of seedlings, shoot dry weight and root dry weight have an overall low correlation with seed weight for the three container capacities of 400 cm³, 800 cm³ and 1200 cm³. Whereas, total, shoot and root dry weight were positively correlated with container capacity ($r = 0.664$, $r = 0.711$, $r = 0.511$ respectively) irrespective of seed weight. Seedlings grown in the container of 1200 cm³ achieved the highest values for the three weight parameters, followed respectively by seedlings grown in 800 and 400 cm³.

Total dry weight and diameter measured during the last sampling date were positively correlated in each of the three containers of 400 ($r = 0.372$), 800 ($r = 0.620$) and 1200 cm³ ($r = 0.688$). The shoot to root dry weight ratio and seed weight were negatively correlated in 800 cm³ ($r = -0.140$), not correlated in 1200 cm³ ($r = 0.054$) and poorly correlated in 400 cm³ ($r = 0.350$). On the other hand, there was a positive correlation between the shoot to root dry weight ratio and container capacity ($r = 0.514$), this ratio was significantly ($P < 0.001$) higher in 1200 cm³ as compared to 800 cm³ and 400 cm³. The *DQI* was significantly lower in the container of 400 cm³ as compared with the containers of 800 cm³ and 1200 cm³.

Table 4.3: Pearson correlation between seed weight and seedling attributes in the three container types

Variable		E	H1	H2	H3	D1	D2	D3	SQ1	SQ2	SQ3	TDW	SDW	RDW	RDW: SDW	DQI
SW	400 cm ³	0.093	0.478	0.494	0.505	0.376	0.379	0.195	0.268	0.102	0.240	0.360	0.009	0.231	0.358	0.156
	800 cm ³	-0.065	0.243	-0.155	-0.149	0.691	0.161	0.095	-0.189	-0.350	-0.314	0.144	0.044	0.181	-0.140	0.320
	1200 cm ³	-0.023	0.367	0.400	0.457	0.224	0.136	0.344	0.299	0.182	-0.031	0.299	0.090	0.234	0.054	0.260

SW: seed weight (g), E: emergence time (days)

IV.4. DISCUSSION

The data obtained from the experiment showed that nursery morphological attributes of cork oak seedling were rather influenced by container capacity than seed weight. No significant relationship seedling-seed appears at any growing stage for neither of the container capacities tested. In fact, an effect should be observed at an early stage of seedling emergence were they are depended on cotyledonary reserves to grow before developing true leaves able to do photosynthesis. So, theoretically, despite the amount of seed reserves translocation to root system that emerges and fastly grows well before shoot emergence, emergence from large seed should be faster than from small seed. This was not the case in the current study since the similar emergence speed registered, excluding thereby any emergence patterns associated to seed weight. This trend may suggest that the efficiency in the use of seed reserves during the first stage of growth varies among seeds.

In natural conditions, cork oak seedlings develop so rapid their tap root to reach deeper layers of the soil as an adaptive strategy to drought stress so that they invest firstly and more in their roots. This supports the view that the seed reserves in oaks are quickly directed to the tap root (Korstian, 1927; McComb 1934; Grime and Jeffrey 1965; Bonfil, 1998), although more investigation is needed to explain the use of seed reserves in the first life stage of this species.

The kinetics of emergence demonstrates that emergence started at the thirteenth day was nearly completed in the three containers thirty-five days after sowing where 90 % of the emerged seedlings were seen. The nursery trial also demonstrates that no effect of seed weight on seedling survivals was found since all emerged seedlings survived until the end of the experiment. Furthermore, no clear patterns were observed between seed weight and seedling size throughout the nursery period. These findings confirmed the maternal influences on seed mass effect and seedling growth in *Q. suber* stated by González-Rodríguez et al. (2011b).

On the other hand, our results showed that seed weight was poorly correlated to seedling total dry weight within the three containers of 400 ($r = 0.360$), 800 ($r=0.144$) and 1200 cm^3 ($r = 0.229$). These correlation levels are less than those found by Queru et al. (2007) and González-Rodríguez et al. (2011b) using *Q. suber* seeds from southern Spain ($r = 0.76$, $r = 0.78$ respectively), despite the fact that correlation found by Queru et al. (2007) was under lowest light (3 %) that did not reflect the real growth conditions, neither in the fields nor at nursery. In fact, the effect of acorn size on seedling growth is often strongest in sub-optimal

conditions (Pesendorfer, 2014). The effect of seed size might change markedly if experiments are performed in greenhouse or under field conditions (Marshall, 1986). Our results confirm, however, the variability between seed fresh weight (Min = 3.65 g, Max = 11.53 g, CV = 26, 29) and seed weight-seedling effect across maternal trees on cork oak species in concordance with the previous authors (CV = 25 – 35).

Cork oak seedling emergence and growth were significantly affected by container capacity. Seedlings grown in the 1200 cm³ container showed higher growth values during the nursery period, followed by seedlings grown in the 800 cm³ containers, while seedlings grown in the 400 cm³ containers were smaller. The high growth in higher volume container can be explained by a higher rooting volume, a better availability of nutrients, water and air with regard to the volume of growing medium contained than smaller container. Similar patterns container-seedling have been reported for forest tree seedlings either for coniferous species (Kinghorn, 1974; Endean and Carlson 1975; Hocking and Mitchell 1974; Sutherland and Day 1988; Dominguez Lerena et al. 2006; Ortega et al. 2006; Kostopoulou et al. 2011) and oaks species including *Quercus falcata*, *Q. nuttallii*, *Q. shumardii* and *Q. nigra* (Elam et al. 1981), *Q. rubra* (Cogliastro et al. 1995), *Q. pagoda* (Howell and Harrington, 2004), *Q. ilex* (Tsakaldimi et al. 2005; Jelić et al. 2015), *Q. coccifera* (Tsakaldimi et al. 2005) and even *Q. suber* (Chirino et al. 2008 ; Zine El Abidine et al. 2016). However, our results are in disagreement with those of Benseghir (1995) who concluded on an inverse growing pattern cork oak seedling-container capacity. The author observed a decrease of cork oak seedling growth with an increase of the container capacity. This disparity can be attributed to the growing densities (seedlings.m⁻²) which were 240, 144 and 90 respectively for the containers of 400, 800 and 1200 cm³ in our experiment versus 200, 120 and 102 in Benseghir (1995) and to a lower extent to the growing medium used (compost of *Acacia cyanophylla* versus peat) and to seed origin. With regard to the growing medium, growths registered in containers of 400 cm³ in our study are comparable with those obtained in previous studies (Belghazi et al. 2013; Chouial and Benamirouche, 2016).

Our results indicate that growth increments in the three container capacities were more pronounced in 1200 than in 800 and 400 cm³ as well as in the second measurement date than in the first and the third dates. This trend suggests that cork oak seedling growth is rhythmic and is done by flush of growth and that the most active elongation occurs during the period of June-July.

However, the high growths observed in the 1200 cm³ container were not in favor of seedling quality since their growth in this container capacity exceeded by far the quality standards (7-9 cm.mm⁻¹) recommended for the species (Lamhamedi et al. 2000). In fact, sturdiness quotients, were similar in the first evaluation for the three containers, and then exceeded the standards in the container of 1200 cm³ in the second and third evaluation (SQ = 13.40 ± 0.52, SQ = 11.97 ± 0.45 respectively). This may have been due to a more pronounced growth in height than in diameter that may be disadvantageous in terms of quality. The seedlings grown in 400 cm³, although being smaller than those of 1200 and 800 cm³, presented a SQ meeting the standards and therefore were better balanced. Nevertheless, higher does not mean ubiquitously better since height is a seedling morphological indicator that may be more useful for height growth potential than survival potential (Thompson, 1985; Mexal and Landis, 1990) which is the first and the principal challenge in reforestation success under drought. In this regard, we have observed in another study (Benamirouche and Chouial, 2018) that outplanting success of cork oak seedlings was positively correlated to the SQ (r = 0.690).

The shoot-root ratio based on dry weights and devised as a measure of balance between the transpirational area and the water absorbing area (Thompson, 1985; Haase and Rose, 2004), is a predictor of seedling tolerance to transplanting stress and resistance to drought (Grossnickle, 2005), particularly under dry climates where seedlings are exposed to a high evaporative demand so their success depends on water uptake capacity of their roots. When analyzing results of several studies involving to the optimum ratio, Thompson (1985) concluded that a quality seedling should have as low shoot-root dry weight ratio as possible to insure the best survival. The ratios calculated by the end of the present experiment have exceeded the standard (1 g.g⁻¹) recommended (Lamhamedi *et al.* 2000) in the container of 1200 cm³ (1.40 ± 0.08) when compared to the containers of 800 (0.93 ± 0.08) and 400 cm³ (0.81 ± 0.05). The strong development in height achieved in the container of 1200 cm³ compared to the limited volume of roots has resulted in a less balanced morphology.

The Dickson quality index of the seedling is an integrated quality index based on several morphological attributes (Dry weight, SQ and shoot: root ratio). This index was significantly different between containers, with a higher index in 1200 cm³ (0.95) and a smaller one in 400 cm³ (0.55). Attention should be paid to interpreting these values because seedlings grown in 400 cm³ are better balanced but exhibited lower DQI values than the others. This is due to their lower weight values. In fact, the DQI may be rather depended on seedling size than on

SQ and shoot: root ratio. For instance, seedlings of different size and so weight values but with identical SQ and shoot: root ratios will exhibit DQIs proportional to their size. Correspondingly, the DQI were higher in larger than in smaller container. The seedling quality study by Binotto et al. (2010) for *Eucalyptus grandis* and *Pinus elliottii* var. *elliottii*, reported that dry matter variables are the most strongly correlated with the Dickson quality index DQI, in agreement with our results. Although, it is recognized that the higher the DQI the higher the seedling quality we believe, however, that the range of values would vary with species and for each size class within species.

Beside the disadvantages of larger containers mentioned above, we observed that the seedlings raised in the containers of 1200 cm³ have dried up much earlier and much more than those raised in the containers of 800 and 400 cm³ when kept without watering after the end of the experiment. Thus, seedlings raised in large container showed lower performance under severe nursery conditions and appeared unable to withstand the harsh site conditions often encountered in the Mediterranean region. However, seedling performance under water restricted conditions in nursery did not reflect their real performance in field. Roots of seedlings generally out planted by the end of the autumn will have already reached deeper layers of the soil before the dry season enabling them to avoid drought situations, in contrast to nursery where their root are limited in containers. Thus, the relation seedling size-outplanting performance deserves future investigation.

IV.5. CONCLUSION

The results of this experiment suggest that acorn weight had no clear impact on cork oak seedling emergence and growth. Although partial, our results could be an indication that the silvicultural practice in the species that could be more relevant than seed size is to consider the use of high physiological quality seed to enhance seedlings quality. On the other hand, the container size had a marked effect on seedling growth and attributes. Seedlings grown in large WM type container showed the highest growth values throughout the nursery period but, unluckily, not the best quality attributes. Thus, increasing container volume improved much more growth than quality in cork oak seedlings. Besides the quality weaknesses highlighted in this study, seedlings produced in larger containers are more costly to produce per unit. Large containers take up more growing space, require more quantity of growing media and are colossal to handle during outplanting generally made in rough topographies.

Thus, breeding of cork oak seedlings in containers up to 400 cm³ in capacity will be justified only if planting material produced in such a way will result in high quality seedlings with high outplanting success. It also appeared that producing the optimum containerized cork oak seedlings need much more testing both in nursery and field.

CHAPITRE 5

**RADICLE LENGTH AND CONTAINER SIZE EFFECTS ON ROOT
DEFORMITIES IN THE MEDITERRANEAN OAK *QUERCUS
SUBER* L.**

Résumé

Effets de la longueur de la radicule et du volume du conteneur sur les déformations racinaires chez le chêne méditerranéen Quercus suber L. Le but de cette étude était d'évaluer les effets de la longueur de la radicule au semis et du volume de conteneur sur les déformations racinaires des plants du chêne Méditerranéen (*Quercus suber* L.). Des glands de cinq modalités de semis incluant glands intacts, glands germés au cours de conservation, glands germés après stratification humide avec radicule $R < 5$ mm de long, radicule $7 < R < 12$ de long et radicule $15 < R < 20$ mm de long ont été semés individuellement en conteneurs WM de 400 cm^3 , 800 cm^3 et 1200 cm^3 . Á la fin de la période de croissance en pépinière, les racines des 1080 plants échantillonnés ont été examinées pour déceler les déformations racinaires. Les résultats obtenus de l'expérience ont montré que la déformation des racines affectait près de la moitié (49 %) des plantules cultivées en conteneurs et que l'état germinatif des glands au moment de l'ensemencement avait un effet significatif sur les des déformations des racines, alors que le volume du conteneur n'avait pas d'effet clair. Le plus grand nombre de racines déformées a été observé sur les semis de glands germés par rapport aux semis de glands intacts avec des pourcentages respectifs de 91 et 9 % des semis inspectés. L'ensemencement de glands germés avec des radicules de $15 < R < 20$ mm et $7 < R < 12$ mm de longueur a généré les pourcentages les plus élevés de déformations nuisibles. Indépendamment de sa taille, le type de conteneur WM sans fond s'est révélé très efficace contre la spirale radiculaire fréquemment observée dans les sacs en polyéthylène de forme cylindrique à fond fermé. Les résultats de cette étude peuvent contribuer à améliorer la qualité des semis de chêne liège pour des programmes de reboisement plus efficaces.

Mots clés : Chêne liège, pépinière, qualité de semis, déformations radiculaires, longueur des radicules, volume de conteneur, Algérie.

Abstract

The aim of this study was to assess the effects on root deformations in Mediterranean cork oaks *Quercus suber* L. of container size and radicle length at the time of sowing. Acorns at five sowing methods – intact acorns, acorns that had germinated during storage, acorns that had germinated after moist stratification and acorns with radicles (R) less than 5 mm in length, 7 mm to 12 mm in length and more than 15 mm length – were planted individually in WM type containers of 400 cm^3 , 800 cm^3 and 1200 cm^3 . At the end of the nursery growth period, the roots of the 1,080 sampled seedlings were examined for root deformities. The experiment results showed that root deformation affected almost half (49 %) of the container-grown cork oak seedlings and that the germination status of acorns at the time of planting had a significant effect on root deformations, whereas container volume had no clear effect. The largest number of deformed roots (91 %) was observed in seedlings grown from germinated acorns, as compared to 9 % of seedlings grown from intact acorns. Planting germinated acorns with radicles $15 < R < 20$ mm and $7 < R < 12$ mm in length produced the highest percentages of detrimental deformations. Irrespective of size, the bottomless WM container type was shown to be highly effective against the root spiraling frequently observed in closed cylindrical polyethylene bags. The results of this study could help to improve cork oak seedling quality for more successful reforestation programs.

Key words: cork oak, nursery stock, seedling quality, root deformations, radicle length, container volume, Algeria.

V.1. INTRODUCTION

Cork oak (*Quercus suber* L.) is one of the major and valuable components of the natural forests in the Mediterranean region. In Algeria, this evergreen woody species occupies 357, 582 hectares (Abbas, 2013) mainly located in the North-East of the country. However, despite their ecological and socio-economical interests, cork oak forests are subjected to degradation under the combined action of Human impacts (urbanization, wildfires, overgrazing, clearing and seed collection) and water stress due to recurring droughts under climate change. The combination of these factors, along with a lack of management practices adapted to the species resulted in a deficiency of natural regeneration. To address this worrying situation, many actions have been implemented, including several field plantings with container-grown seedlings in nurseries. Unfortunately, transplantation projects have not, in most cases, achieved their purposes. In fact, the poor survival of *Quercus* plantations in the field has most often been attributed to the low quality of the planted seedlings, the limited resources to growth (Tsakalimi et al. 2005; Valdecantos et al. 2006), the poor planting technique and the poor post-planting maintenance.

In addition to the genetic aspect, the quality of seedling is based on the physical quality, which is exhibited by the integration of a multitude of morphological attributes such as seedling height and weight, root collar diameter, root form and weight, the number of first order of laterals root, bud set, foliage color and various ratios such as shoot: root weight and sturdiness ratio, physiological attributes such as mineral nutrient and non-structural carbohydrate concentration, chlorophyll content, gas exchange, fine root electrolyte leakage and performance attributes such as root growth potential, drought resistance and frost hardiness. Accordingly, several work and review (eg. Ritchie, 1984; Thompson, 1985; Mexal and Landis, 1990; Mattsson, 1997; Gregorio et al. 2006; Villar-Salvador et al. 2004; Grossnickle and MacDonald, 2018) have thoroughly addressed these quality attributes, their measurement and use in seedling assessment methods and their utility for predicting seedling outplanting performance for bare root and containerized planting stock of numerous species.

Nursery cultivation regimes can strongly determine the functional characteristics of seedlings and their field performance (Landis et al.1990; Villar-Salvador et al. 2004). A good root system able to perform their physiologic functions toward seedling is essential for seedling establishment and growth.

The forming of a root system starts at the germination stage, and as a consequence nursery practices may greatly influence the root development of the seedlings used for reforestation (Hahn and Hutchison, 1978)

Because root growth is restricted to the volume of substrate a container can hold, it is not surprising that pot characteristics have a significant impact on root and plant growth (Mathers et al. 2007). Container of poor design such as solidwall containers made of hardplastic with smooth walls and small bottom drainage can obstruct roots, limiting their development or causing them to circle within the container or descend vertically to its base which resulted in root spiraling (Hultén and Jansson, 1978; Lindström and Rune, 1999). After plantation in field, circling roots formed at the bottom of the container becomes irreversible with the lignification of plant tissues (Amorini and Fabbio, 1992), commonly fail to grow out into the soil, resulting in reduced root growth and function (Ruter, 1993). As a result, it has been shown that deformed root systems can contribute to long-term tree growth problems such as instability in the landscape (Nichols and Alm, 1983), reduced shoot growth, tree decline and mortality (Ortega et al. 2006).

Oaks seedlings quickly develop a strong taproot, which usually grows to several inches in length within a few weeks after germination begins (Johnson et al. 2002). This early development of the taproot resulted in root spiraling on cork oak seedlings reared in polyethylene bag of a closed-bottomed cylindrical shape. The root deformation increase with increasing time of growth in the container (Greene, 1978) and lead to poor post-planting survival. This root deformation type has been minimized by the out of ground seedbed production system associating anti-spiraling WM type containers made of thin plastic with dihedral ridges (Reidacker, 1978). This cultivation system potentially allows air root-pruning which minimize root spiraling by modifying or killing root tips and favors a more fibrous root system (Fiorino et al. 1998; March and Appleton, 2004; Gilman and Kempf, 2009). However, despite these innovations and the improvements that have been made on seedling quality, root deformations on cork oak container-grown seedlings, in particular collar nodes and sticks, remain observed in nurseries. These detrimental root deformations persist after plantation and lead to plant death few years later (Figure 5.1).

Although previous studies have focused on the effects of growing media (Belghazi et al. 2013) and the orientation of the radicle at the moment of sowing (Chouial and Benamirouche, 2016) on root deformations of cork oak container-grown seedlings, the effect of radicle length

at the time of sowing remains not documented. Moreover, despite the above advantages of the WM container type, there is little information about the ideal volume of this container type that allows better root and shoot attributes; the WM type container of 400 cm³, suggested as an alternative to the polyethylene bag, was used in empiric approach.

Thus, looking to the above elements, the purpose of this study was to assess the effects of the radicle length at the time of sowing and container size on root deformation on Cork oak seedlings. Although limited at the nursery development phase, the study provides also the opportunity to evaluate the effectiveness of the container type WM for producing well-conformed root system. The results would provide guidelines for enhancing cork oak planting stock quality by minimizing root deformations.

V.2. METHODS

V.2.1. Seed collection and handling

The experiment was conducted in the open air nursery of the regional station of forestry research in Jijel on the North-East-Algerian coast (36.79°N, 5.66°E, Elev. 18 m). Seeds were hand- collected in mid December 2015 from one mother *Quercus suber* tree growing in the surroundings of the nursery. After a vigorous cleaning by flotation method, apparently healthy acorns were stored in a cold room until the experiment. In April 2016, the stored acorns were removed from the cold room and separated into two lots: germinated acorns during storage and intact ones. A sub lot from the intact acorns were put to germinate in moist sawdust under laboratory environment.

V.2.2. Seed sowing and seedling cultivation

Five sowing methods were tested (Figure 5.2): sowing of intact acorns (IA) as a control, sowing of acorns germinated during storage (AGS), sowing of acorns germinated after moist stratification with radicle less than 5 mm length ($R < 5$), radicle of length ranging between 7 and 12 mm ($7 < R < 12$) and radicle of length ranging between 15 and 20 mm ($15 < R < 20$).

The acorns were individually sown in containers types WM of Reidacker made of thin plastic with dihedral ridges of three different volumes of 400 cm³, 800 cm³ and 1200 cm³ filled with the same growing mixture made of a compost of *Acacia cyanophylla* and forest brush (1v:1v). The containers of each size were arranged in perforated plastic boxes which were randomly placed on benches elevated at 30 cm from the surface of the ground to allow root air-pruning.



Figure 5.1: Root deformation on six-year-old cork oak seedling excavated from reforestation project in the Algerian north eastern coast. *The root deformation engendered in nursery persisted after plantation, increased with time and resulted in plant death.*



Figure 5.2: Cork oak acorns representing the five sowing methods tested. *IA=intact acorns; AGS=acorns germinated during storage; R=radicle length (mm).*

V.2.3. Experimental design and cultural treatments

The study consisted of a randomized complete block design with three replications. There were 15 treatments (5 sowing method x 3 containers size). Each treatment combination (sowing method) was represented by 75 acorns (25 x 3). Thus, the total number of acorns sown in the experiment was 1125 acorns (25 acorns x 5 sowing methods x 3 container sizes x 3 replications).

Even though the compost reduces the germination of weeds, the growing medium can be infested by some weeds that compete the plants for water and nutrients. To improve weed control, continual hand suppressing of the emerged weeds was ensured to keep containers weed free. The irrigation was uniformly given throughout a semi-automatic irrigation system. No fertilization was applied.

V.2.4. Sampling and roots examination

At the end of the vegetation period (six months after sowing), all the 1080 survived seedlings (24 x 3 per treatment) were destructively sampled for roots deformations examination. After carefully washing roots systems free of growing media, the roots were examined for root deformations and classified in one of the three categories: collar nodes, collar sticks and bad pruning of the taproot. If no deformity was observed, the root was classified as normal.

V.2.5. Statistical analysis

An ANOVA was performed to ascertain significant effects of radicle length and container volume on root deformations. A Newman-Keuls test was used to separate means obtained from different treatments (sowing method x container volume). Correlation coefficients were calculated between root deformation and the various treatments. Percentage values were transformed through the formula: $\arcsin \sqrt{x}$ (where x is the percentage value divided by 100) before data were subjected to one-way analysis of variance (Amoroso et al. 2010). All statistics were performed with XLSTAT software package.

V.3. RESULTS

Overall, the results show that almost half (49 %) of the 1080 seedlings inspected at the end of the nursery period were affected by root deformations (Table 5.1). The other seedlings representing a percentage of 51 % were free of deformation and were thus classified as normal.

Table 5.1: Percentage of seedlings with deformed roots observed on six-month-old cork oak container-grown seedlings.

Root deformation type	Root deformation percentage (%)
Collar node	20.91
Collar stick	21.09
L-shapes	0.62
Division of the taproot	6.43
Total	49.00

All the root deformations were observed on the taproot, of which the root collar node, the root collar stick and the bad pruning of the taproot (L-shaped taproot) with respective percentages of 20.91, 21.09 and 0.62 % of the inspected seedlings.

Furthermore, no root spiraling was recorded, while 6.43 % of the inspected seedlings showed multiple taproots which was proving to be an advantage for seedlings intended for arid environments. Therefore, we presented only results of detrimental root deformations expected to have harmful influences on survival and growth of transplanted trees (collar node, collar stick and L-shapes taproot).

V.3.1. Effects of sowing methods

Among all inspected seedlings, sowing with radicle of $15 < R < 20$ mm length generated the highest percentage of deformed roots (14.83 %), followed by sowing with radicle of $7 < R < 12$ mm length, sowing of acorns germinated during storage and sowing with radicle of length less than 5 mm with respective percentages of 10.01, 7.51 and 7.33 %, whereas the lowest percentage of deformed roots (3.84 %) was observed on seedlings grown from sowing of intact acorns (Table 5.2). Accordingly, the most deformations were generated by sowing of germinated acorns both during storage or after moist stratification compared to sowing of intact acorns with respective percentages of 91 and 9 % of the total of seedlings.

Table 5.2: Effects of sowing methods on type and percentage of detrimental root deformations observed on six-month-old cork oak container-grown seedlings.

Sowing method	Root deformation type (%)		
	Collar node	Collar stick	L-shapes
15<R<20	46.09 a	28.09 a	0.79 a
7<R<12	18.86 b	25.66 ab	0.28 a
R<5	11.61 bc	18.35 ab	1.50 a
AGS	20.60 b	19.79 ab	0.74 a
IA	02.75 c	12.30 b	0.00 a
<i>P</i> value	<0.0001	0.061	0.569

In each column, values with no letters in common differ significantly at $p=0.05$ according to Newman-Keuls ranking test. R= radicle length (cm), AGS= acorns germinated during cold storage, IA= intact (no germinated) acorns.

Moreover, sowing method showed a marked effect on the type of the root deformation observed (Table 5.2). Seedlings grown from acorns with radicle of $15 < R < 20$ mm and $7 < R < 12$ mm length showed high percentages of collar nodes, around 15 % of seedlings grown from acorns with radicle $R < 5$ mm length and those germinated during storage showed nodes, whereas less than 5 % of seedlings grown from intact acorns showed this detrimental

deformity. Likewise, the collar stick was observed in particular on seedlings grown from sowing of acorns with radicle of $15 < R < 20$ mm and $7 < R < 12$ mm length and those germinated during storage with respective percentages of 25.68, 26.83 and 21.32 %.

V.3.2. Effects of container size

As shown in table 5.3, the highest percentage of deformed root was observed on seedlings grown in the container of 400 cm³ (24.03 %), followed by seedlings grown in the containers of 800 cm³ (11.20 %) and 1200 cm³ (7.95 %). Despite the expected increase in root deformation on the container of 400 cm³, the registered values were statistically non different ($P= 0.167$).

Table 5.3: Effects of container volume on type and percentage of detrimental root deformations observed on six-month-old cork oak container-grown seedlings.

Container volume (cm ³)	Root deformation type (%)		
	Collar node	Collar stick	L-shapes
400	24.77 a	21.76 a	0.50 a
800	16.85 a	20.48 a	0.56 a
1200	18.33 a	20.28 a	0.92 a
<i>P</i> value	0.471	0.936	0.800

In each column, values with no letters in common differ significantly at $p=0.05$ according to Newman-Keuls ranking test.

In the same way, the container size had no clear effect on the type of the root deformation observed.

V.4. DISCUSSION

Results from this study confirm the occurrence of root deformities on cork oak seedlings grown in container as has long been reported for container-grown seedlings of a wide range of species, such as Jack pine (Segaran et al.1978; Carlson and Nairn, 1978), Black spruce (McClain, 1978), Lodgepole pine (Van Erden, 1978), Stone pine (Ben Salem, 1978), Red oak and Sessile oak (Chagnon, 1995; Guibert et Le Pichon, 1998). The overall results showed that 49% of the 1,080 seedlings inspected at the end of the nursery period are affected by root deformities. These findings are in line with previous findings of Bouderrah et al. (2017) about root deformations on cork oak container-grown seedlings in some Moroccan nurseries.

Although, both treatment combinations cause root deformation, the germination status of acorns at the time of sowing was shown to exert the most significant effect. In accordance with a previous research (Chouial and Benamirouche, 2016), the greatest number of deformed roots was observed on seedlings grown from sowing of germinated acorns than on seedlings grown from direct sowing of intact acorns with respective percentages of 91 and 9 % of the inspected seedlings. Thus, direct sowing of intact acorns could significantly reduce the occurrence of root deformations. However, the presence of root deformations on seedlings grown from direct sowing of intact acorns suggests that the root deformations also may be governed by other factors than those studied here, such as plant growth regulators (Coultts and Bowen, 1973; Sutton, 1980), genetic quality of acorns, physiological quality of acorns (both initial and post-storage qualities) and germination conditions (temperature and humidity).

Sowing of acorn germinated during storage provided 7.51 % of seedlings with deformed roots predominantly detrimental deformations. These results confirmed the statement of Corbineau and Bernard (2001), that sowing of acorns that germinate during storage lays out the future root system with severe and often detrimental deformations. In fact, the tendency of acorns to germinate in the storage container constitutes a real problem in acorn storage (Bonner and Vozzo, 1987; Benamirouche et al. 2018). Thus, ensuring good storage conditions is needed to reduce the pre-sprouting of acorns and to avoid sowing of acorns germinated during storage for seedling production.

The length of the radicle at the time of sowing had a marked effect on the percentage and type of the observed root deformities. In agreement with earlier results for the two oaks *Quercus rubor* and *Quercus petraea* (Chagnon, 1995; Guibert et Le Pichon, 1998), our results indicated that sowing with radicle of more than 15 mm in length engendered more root deformations than sowing with radicle less than 12 mm in length. Moreover, it appears that the longer the radicle the higher the percentage of the collar nodes and sticks that can occur on seedlings. These findings corroborate with Madeore (1996) who stated that the percentage of the collar sticks in *Quercus petraea* increases with the length of the radicle at the time of sowing. In addition, from a practical point of view, if the radicles become too long, it may be difficult to plant without causing root deformation (Launa et al. 2009). Hence, sowing of acorns with long radicle is more difficult to achieve and could induce several root deformations especially when germinated seeds were poorly picked out from the germination bed to the container.

The third detrimental root deformation observed in the current study was the L-shaped taproot (Lacaze, 1968; Brissette et al. 2012), which represented less than 1% of the inspected seedlings. Apparently, this detrimental deformation may occur when the taproot reaches the bottom of the container, it can eventually not correspond with the perforations of the plastic boxes, which are not primarily designed for such a use. This forces the taproot to grow horizontally forming a taproot L-shapes deformation. This deformation of the taproot persists after transplanting and lead to serious consequences, such as growth reduction reported for L-taprooting seedlings of spruce after two years in the field (Lacaze, 1968). Thus, this deformation of the taproot should be corrected prior to transplanting by the hand pruning of the deformed part of the root, as has been well demonstrated for planting stocks of several species affected by the L-taprooting deformation (Ball, 1976; Stone and Norberg, 1978).

By its design and restrictions, the container type can alter root orientation and morphology (Marshall and Gilman, 1998; Mathers et al. 2007; Kostopoulou et al. 2011), which seriously affected seedling post-transplanting. The results regarding the container size effect showed that root deformations were more pronounced with smaller container of 400 cm³ than with larger containers of 800 and 1200 cm³, though differences were not statistically significant ($P=0.167$). These findings are in agreement with Nesmith and Duval (1998) who stated that altered root morphology may be more pronounced with smaller containers. Moreover, no root spiraling was recorded for the three container size tested in the current study. Thus, irrespective of its size, the bottomless WM container type was showed highly effective against this root deformation commonly observed in polyethylene bag of a closed-bottomed cylindrical shape. In fact, as has been well demonstrated by Reidacker (1978), the internal dihedral ridges of the bottomless container type WM induce roots to grow downward and air-pruned when they reached the atmosphere avoiding them to circle.

Furthermore, after the visual examination of the roots of the survived seedlings in the current study, we observed that the air-pruning of the tap root enhance root proliferation and induces the formation of root tips (De Champs, 1978; Amorini and Fabbio, 1992; Fiorino et al. 1998; Rune, 2003) even more when seedlings were grown in compost, which favors more fibrous root system with a greater surface area. These observations supported data obtained with various oaks, such as *Q. virginiana* (Gilman and Yeager, 1987), *Q. douglasii* (McCreary, 1996), *Q. palustris* (Harris et al. 2001), *Q. petraea* (Ertas, 2002), *Q. ilex* (Caliskan, 2014) and *Q. bicolor* (Van Sambeek et al. 2016). As a result, it is well documented that increasing root

surface area will increase potential for water and nutrient uptake, reduce planting stress, and improve post-planting survival and growth (Mexal and Burton, 1978; Schultz and Thompson 1997; Davis and Jacobs, 2005; Grossnickle, 2005).

Trees grown from seed *in situ* normally develop a strong taproot and well-distributed laterals, which tend to increase stability. The objective of planting should thus be to use methods which allow the root system to develop a form as close as possible as to that of naturally regenerated trees (Chavasse, 1978). Although the quality of planting stock including root system quality will be determined by field performance in relation to the objectives of management (Sutton, 1980), there were no consensus about the long term effects of root deformation on the post planting performance (Mexal and Burton, 1978; Barnett, 1981). Notwithstanding the influence of the degree of deformity, site class, soil type and tree species (Stefansson, 1978; Brisette et al. 2012), several studies connected, however, the poor growth, stem breakage at ground, instability and survival to the planting of seedlings with deformed roots (e.g. Lacaze, 1968; Bergman, 1976; Nichols and Alm, 1983; Whitcomb, 1984; Lindström and Rune, 1999; Johnson and Hauer, 2000; Lemaire, 2003; Jaenicke, 2006; Ortega et al. 2006; Amoroso et al. 2010). For instance, root deformation induced by the polyethylene bag on seedlings of the coniferous Maritime pine, Stone pine and Italian cypress (Ben Salem, 1978; De Champs, 1978; Amorini and Fabbio, 1992) and Cork oak (*Pers. obs*) persisted after transplanting and resulted in serious strangling of root and mortality of young trees a few years later.

Furthermore, successful seedling establishment is partially dependent on the capacity of seedlings to initiate new roots quickly and establish a vigorous root system before initiation of rapid new shoot growth (Sutton, 1980; Grossnickle, 2005). When outplanted to field or potted to a larger container, cork oak seedlings initiated in bottomless-container stock generated new root from the root tips near the cut end of the primary root, the generated root grew in-line with the primary root as we observed on a root growth potential nursery trial (Benamirouche et Chouial, 2018). On cork oak young trees excavated after six years from field transplant as WM container type stock, the replacement taproot penetrates with positive geotropism and have vertically reached a depth of more than 140 cm in a soil with no visible physical barriers (data not shown). Besides ensuring good anchorage and stability, the strong development of the taproot intends to acquire water from dipper soils with relatively more available moisture in summer (Devine et al. 2009).

V.5. CONCLUSION

The overall results of this study confirmed the influence of nursery practice on root quality of containerized seedlings. More especially, sowing method showed a marked effect on root deformation on cork oak seedlings. The root deformations on cork oak containerized seedlings can be significantly minimized by sowing of intact acorns than germinated acorns for seedling production. Besides this relevant advantage, sowing of intact acorns is easier and faster to carry out and thus cost-effective and so more interesting for nurseries. If, however, we must sow germinated acorns, sowing should be down with acorns with radicle less than 5 mm in length to reduce the occurrence of detrimental root deformations. The study also highlighted the need to a safe storage of acorns to reduce the acorns pre-sprouting since the occurrence of detrimental root deformations on seedlings grown from sowing of acorns germinated during storage.

Although the container size had no clear effect on the type and percentage of root deformations, it's evident that breeding of cork oak seedlings in WM container type may be a good nursery practice that could enhance seedling quality by significantly preventing root spiraling frequently observed on seedlings raised in polyethylene bag. In addition, this container type is reusable and offers an excellent opportunity for mechanization. Thus, although more expensive than the usual polyethylene bag, its advantages are worth the cost for better root conformation.

The results of this study indicate that cork oak seedling with perfect roots can be produced in nurseries through suitable sowing method and appropriate container and growing medium. These good practices will certainly lead to enhance seedling quality for more successful restoration plantings especially under the harsh site conditions of the Mediterranean areas, where the post-planting recovery and survival are extremely linked to root quality.

Finally, this study has been focused on the nursery phase; we emphasize the need to an in-depth and continued study of the long term effects of root deformation on the post planting performance of planted cork oak seedlings with deformed roots.

CHAPITRE 6



CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES DE RECHERCHE

Le chêne liège, *Quercus suber* L., est une essence endémique du bassin méditerranéen occidental où il occupe un peu plus de 2 millions d'hectares répartis sur sept pays d'Europe (Portugal, Espagne, Italie et France) et d'Afrique du Nord (Algérie, Maroc et Tunisie). La principale caractéristique de l'espèce est son écorce formée de liège qui la protège du feu et offre un produit organique qui se prête à plusieurs utilisations industrielles et artisanales. Outre les quantités importantes de liège fournies, la forêt de chêne liège joue un rôle récréatif et paysager non négligeable et est le siège de diverses activités : pastorale, de récolte de glands, de plantes aromatiques et médicinales, de miel, de champignons, de lichens, etc.

En Algérie, le chêne liège constitue la deuxième essence de la forêt algérienne après le pin d'Alep mais c'est l'essence qui contribue le plus à l'économie forestière nationale. Cependant, malgré leur importance, les subéraies, en majorité vieillissantes et non aménagées, sont soumises à des contraintes et sont l'objet de dégradation sous les effets combinés des actions humaines (incendies, défrichements, surpâturage, prélèvement de bois de feu, etc.) et de sécheresses récurrentes. Aggravé par les mauvaises pratiques d'exploitation du liège, l'état général préoccupant de la subéraie algérienne se résume en un manque de régénération naturelle, une réduction graduelle de la superficie et de la production de liège.

La diminution du capital subéricole a contraint le forestier à réfléchir sur les techniques de renouvellement les plus avantageuses afin de pallier la déficience de la régénération au niveau des subéraies. Ainsi, plusieurs actions de reforestation en chêne liège ont été réalisées mais sans grand succès. Bien qu'attribuable à plusieurs causes, l'utilisation de plants de mauvaise qualité est l'un des principaux facteurs impliqués dans les échecs enregistrés. En effet, dans leur état actuel de conception et de fonctionnement, nos pépinières ne sont pas en mesure de fournir au reboiseur des plants de bonne qualité. En plus des insuffisances à tous les niveaux (semence, substrat, technique de semis, conduite d'élevage) constatées en pépinière, pour le chêne liège s'ajoute un manque de recherches sur l'élevage de plants de cette espèce qui pendant longtemps n'a pas été considérée comme espèce de reboisement. Au lancement du plan national de reboisement, on ne disposait pas d'expérience sur l'élevage de plants de chêne liège dans toutes ces étapes de la semence au plant. Pour pallier ces insuffisances, nous avons initié dans le cadre de la présente thèse une série d'expérimentations en pépinière en contribution à la recherche des meilleures conditions permettant de produire des plants de chêne liège aptes à s'installer et démarrer correctement sur le terrain.

VI. 1. Synthèse des résultats

Les différentes expérimentations réalisées ont permis d'accumuler une masse de données sur des aspects à impact direct sur la qualité des plants de chêne liège. L'étude a porté sur la conservation de glands, le substrat d'élevage et les techniques de semis en pépinière. La compilation et l'analyse statistique des données a permis d'aboutir aux conclusions récapitulées ci-après.

VI.1.1. Conservation de glands et effet de la durée de conservation sur la qualité des plants

Cette expérimentation réalisée dans le cadre d'un projet de recherche innovation (n°INV/05/2012/ATRST), a abouti à la mise en œuvre d'une nouvelle technique de conservation permettant de maintenir des glands viables et aptes à fournir des plants vigoureux.

Le suivi de l'évolution de l'état physiologique des glands des dix-sept modalités de conservation, issues de combinaisons de facteurs influençant la conservation de glands (emballage x durée de ressuyage x provenance de glands), et mises à l'essai a fait ressortir les modalités de conservation les plus pertinentes pour le maintien des glands en très bon état physiologique. Des pertes élevées en glands par dessèchement du péricarpe, par pourriture ou par germination précoce ont été enregistrées pour certaines modalités telles que le mode classique de conservation en sac à maille tissée. *A contrario*, les modalités de conservation en fûts fermés se sont révélées très efficaces en offrant aux glands des conditions de conservation optimales. En effet, après 21 mois de mise en conservation, les glands sont restés intacts avec un minimum de pertes et un pouvoir germinatif élevé. Ce résultat constitue la plus longue durée de bonne conservation au froid connue pour cette espèce.

A la lumière des résultats obtenus, il serait possible de conserver les glands de chêne liège pour une durée d'au moins 21 mois. Pour réussir une conservation de glands, ceux-ci devraient être récoltés des meilleurs semenciers lors des années de bonne glandée. Ils doivent être rapidement acheminés au laboratoire où ils seront purifiés et triés visuellement et par flottaison dans l'eau, puis laissés se ressuyer jusqu'à atteindre une teneur en eau de 37 à 40 %. Ils seront ensuite enrobés avec un fongicide de contact à large spectre d'action, entreposés en couches séparées par de la poudre de liège à l'intérieur de fûts en plastique remplis à hauteur

de 80 % de leur volume. Les fûts seront hermétiquement fermés et stockés debout dans une chambre froide maintenue à une température oscillant de 0 à 2°C. Les fûts devraient être ouverts, durant quelques temps, une à deux fois par mois afin d'ajuster le ratio CO₂/O₂ et de mixer les glands en même temps.

Le non-respect des directives de conservation définies dans cette nouvelle technique entrainera une détérioration rapide de glands mis en conservation. C'était le cas des autres modalités de conservation en sacs de polythène fins ou épais et sac à maille tissée testés dans le cadre de cette recherche.

Les plants issus de semis de glands des modalités ayant subsisté 15 mois en chambre froide ont été de bonne qualité. La germination des glands était rapide et synchronisée et les plants issus avaient des indices de vigueur élevés. Ces résultats témoignent qu'on peut cultiver des plants de chêne liège vigoureux à partir de glands conservés pendant plus d'une année.

Bien que cette recherche a montré la possibilité d'une longue conservation de gland, elle a mis en évidence, par ailleurs, l'effet potentiel de la provenance et de l'arbre producteur sur l'aptitude à la conservation de glands qui devraient être pris en compte lors de la conservation.

VI. 1.2. Production et utilisation du compost de broyat d'*Acacia cyanophylla* pour l'élevage des plants de chêne liège

Cette recherche a été réalisée dans le cadre des programmes nationaux de recherche (contrat de recherche n°1/CRA 01/2229). Les travaux se sont déroulés en trois phases : phase de compostage, phase de valorisation en pépinière et phase de comportement après transplantation en parcelle expérimentale.

La première phase a permis de produire trois composts à partir de broyat de branchage d'*Acacia cyanophylla* Lindl. Le compostage s'est déroulé à l'air libre en trois andains constitués respectivement de broyat d'*Acacia* + urée (AC+U), broyat d'*Acacia* + fientes de volailles (AC+F) et broyat d'*Acacia* sans intrant (AC). Le suivi consistait en de relevés quotidiens de température des andains à l'aide d'un thermomètre relié à une sonde compost d'une longueur de 140 cm. Des retournements et des arrosages ont été effectués au besoin.

Un test de germination a été réalisé à la fin du processus de compostage pour évaluer la phytotoxicité des composts élaborés.

Le suivi de l'évolution des températures a montré que le compostage passe par des phases successives. L'ajout d'urée a stimulé le processus de compostage pour l'andain Broyat + urée qui a atteint le stade de maturation au 80^{ème} jour, alors que la maturation des deux autres andains n'a été atteinte qu'après 100 jours de compostage. La germination des graines de lentille semées dans les trois composts était rapide et a dépassé les 80 %, témoignant de l'absence d'effet phytotoxique ou dépressif des composts élaborés. La maturation des trois composts a été par la suite confirmée par les rapports C/N oscillant de 15,20 à 17,21. Le rendement net après criblage à 10 mm a été en moyenne de 60 % pour les trois andains.

Les trois composts produits ont été par la suite utilisés dans la confection de substrats de culture pour l'élevage de plants de chêne liège en mode sur-élevé. La croissance des semis et la capacité de régénération racinaire mesurées en pépinière ainsi que la reprise après plantation ont été les paramètres utilisés pour juger la qualité des plants et l'effet du compost. Les résultats de la caractérisation au laboratoire des dix substrats confectionnés ont montré que les substrats à base de compost étaient plus riches en matière organique et en azote, plus légers, mieux aérés et moins colonisés d'adventices que le substrat témoin donc plus convenables pour l'élevage de plants. Par conséquent, les plants élevés sur les substrats à base de compost ont montré un meilleur développement que celui du témoin. En effet, en plus des gains de croissance réalisés, les plants produits dans du compost ont répondu aux normes de qualité citées pour cette espèce, ont montré une meilleure capacité de régénération racinaire et une meilleure reprise sur le terrain par rapport aux plants du témoin sans compost.

À l'issue des trois phases de cette recherche, on peut conclure que le broyat de branches d'*Acacia cyanophylla* présente une bonne aptitude au compostage avec ou sans stimulateur. Le matériau obtenu après compostage et criblage, permet de produire des plants de chêne liège répondant aux standards de qualité, aptes à reprendre et survivre après plantation.

VI. 1.3. Effets du poids de gland et du volume du conteneur sur la croissance et la qualité de plants

Cette recherche a été accomplie dans le but de déceler les effets potentiels du poids de glands et du volume du conteneur sur la croissance et la qualité des plants de chêne liège du stade

levée au stade plant sous des conditions de croissance homogènes en termes de substrat, date de semis, arrosage et ombrage.

Les données recueillies ont montré que la croissance des plants de chêne liège était plutôt contrôlée par le volume du conteneur que par le poids de la semence (gland). En effet, la relation gland-plant ne s'est manifestée ni au stade levée ni aux stades ultérieurs de croissance des plants quel que soit le volume du conteneur considéré. L'effet poids de la semence devrait théoriquement se manifester au stade émergence où le semis dépend des réserves cotylédonaire avant de développer des feuilles aptes à la photosynthèse. Cependant, ceci n'a pas été le cas pour le chêne liège dans le cadre de cette étude où la vitesse de levée était non corrélée au poids de gland. Ceci peut être dû au fait que le chêne liège investi en premier les réserves cotylédonaire pour développer rapidement un long pivot géotropique qui constitue, en conditions naturelles, une stratégie pour atteindre rapidement les horizons inférieurs plus humides avant l'arrivée de la saison sèche. Dans le même sens, aucune corrélation n'a pu être établie entre le poids des glands et la croissance des plants à partir du stade levée ou même avec la survie des plantules levées.

Pour ce qui est du volume du conteneur, les résultats de cette recherche ont montré que la levée et la croissance des plants sont fortement influencées par le volume du conteneur. D'une façon générale, le coefficient de corrélation de Pearson associant les différents paramètres de croissance des plants et le volume du conteneur augmentait positivement et significativement avec le volume du conteneur. En raison d'une meilleure disponibilité d'espace de croissance pour les racines et des ressources de croissance, les plants élevés dans les conteneurs 1200 cm³ étaient les plus grands, suivis respectivement par ceux du conteneur 800 et de 400 cm³. Ces résultats sont en concordance totale avec des études sur le chêne liège et d'autres espèces feuillues et résineuses. Toutefois, du point de vue qualité, la forte croissance des plants élevés dans les conteneurs de 1200 cm³ était au détriment de leur qualité. Les indices de vigueur calculés comme le quotient de robustesse hauteur/diamètre et le ratio des poids secs tige/racine ont dépassé les normes préconisées pour les plants élevés en conteneur 1200 cm³ par rapport aux plants élevés dans les conteneurs 800 et 400 cm³.

Le déséquilibre constaté chez les plants élevés en conteneur 1200 cm³ s'est traduit par une faible tolérance au stress hydrique lorsque les plants ont été délaissés et non arrosés à la fin de

l'expérimentation et se sont desséchés en premier. Ce résultat consolide des résultats antérieurs ayant stipulé que la survie en conditions difficiles diminue avec la taille des plants.

Bien que partiels, les résultats acquis dans le cadre de cette expérimentation, nous ont permis de suggérer que l'augmentation du volume du conteneur favorise beaucoup plus la croissance que la qualité (équilibre et vigueur) des plants qui est le gage de réussite sur terrain.

VI.1.4. Effets de la longueur de la racicule et du volume du conteneur sur les déformations racinaires des plants

Cette expérimentation fait suite aux travaux réalisés à la station de recherche forestière de Jijel dans le but d'élucider l'origine des déformations racinaires observées chez les plants de chêne liège élevés en pépinière. Elle s'intéresse particulièrement à l'effet de la longueur de la racicule au moment du semis et du volume du conteneur sur l'importance et le type de déformations racinaires rédhibitoires chez les plants de chêne liège en pépinière.

L'examen visuel systématique des racines des 1119 plants issus des quinze modalités de semis mises à l'essai (cinq états de glands (intacts, germés durant la conservation, prégermés avec racicule $R < 5$ mm, $7 < R < 12$ mm et $15 < R < 20$ mm) x trois volumes de conteneur type WM de 400, 800 et 1200 cm³) confirme la présence de déformations racinaires chez les plants de chêne liège élevés en pépinière. Au total, 548 plants présentent au moins une déformation racinaire, soit un pourcentage de 49 %. Parmi les plants avec racines déformées, le semis de glands germés a généré 91 % de déformations contre 9 % pour les glands semés intacts. La présence de déformations racinaires parmi les plants issus de semis de glands intacts laisse suggérer l'implication d'autres facteurs comme l'origine génétique et les conditions de germination (température et humidité).

Les défauts racinaires ont touché le pivot dont le nœud au collet, la crosse au collet et le mauvais cernage du pivot avec des pourcentages respectifs de 20,91, 20,09 et 0,62 % du total des plants diagnostiqués. Les résultats appuyés par les analyses statistiques ont montré que la longueur de la racicule avait un effet significatif sur le type et le pourcentage de déformations observées.

Les glands avec racicule de $7 < R < 12$ mm et $15 < R < 20$ mm de longueur ont généré plus de déformations que les autres modalités de semis. Ces mêmes modalités de semis ont provoqué plus de déformations rédhibitoires de types nœud et crosse au collet. Ainsi, en plus des

difficultés de mise en œuvre, le semis de glands germés avec longue radicule expose les plants à des déformations racinaires rédhibitoires qui constituent une fatalité pour les plants. Les résultats de cette expérimentation ont montré, en revanche, que le volume du conteneur d'élevage n'avait pas d'effet significatif sur le type et le pourcentage de déformations racinaires observées. Bien que les conteneurs WM 400 cm³ ont généré plus de plants avec racines déformées que les conteneurs plus volumineux de 800 et 1200 cm³, les valeurs enregistrées étaient statistiquement non différentes. L'examen des racines a permis aussi de confirmer que, quel que soit son volume, le conteneur de type WM s'est révélé très efficace contre la formation du chignon souvent observé chez les plants élevés en sachet de polyéthylène. Les angles dièdres de ce type de conteneur obligent les racines à se diriger vers le fond du conteneur et s'arrêter de croître au contact de l'air favorisant, en outre, la formation d'un système racinaire branchu et dense extrêmement avantageux à la survie dans les milieux à contrainte hydrique.

Afin de minimiser les déformations racinaires chez les plants de chêne liège en pépinière, le semis doit être réalisé avec des glands non germés, récoltés d'une bonne source et bien conservés jusqu'au semis en pépinière en conteneurs de type WM.

VI.2. Implications pour la régénération artificielle du chêne liège

Le reboisement est une méthode de restauration des espaces forestiers dégradés par la réinstallation de l'espèce d'origine et de nouvelles espèces s'avérant mieux adaptées et plus rentables. D'un point de vue pratique, c'est une opération complexe qui requiert plusieurs étapes afin d'atteindre les résultats escomptés. Ces étapes commencent par le choix judicieux de l'espèce et de sa provenance, l'application de bonnes pratiques de pépinière permettant de produire des plants de qualité, l'intervention adéquate sur le site de plantation par des travaux visant l'amélioration des conditions d'installation et de croissance des plants, et enfin l'instauration de mesures d'accompagnement des plants après leur mise en terre. La non maîtrise de l'une de ces étapes peut compromettre totalement le projet de reboisement.

Le reboisement avec de plants de bonne qualité a été reconnu depuis longtemps par les sylviculteurs à travers le monde comme clé de réussite. Dans ce contexte, diverses procédures d'évaluation de la qualité des plants basées sur la mesure de nombreux attributs morphologiques et physiologiques ont été ainsi conçues et appliquées à diverses espèces résineuses et feuillues. Bien que les avis ne concordent pas toujours quant à la taille désirable

de plants à produire, le seul point sur lequel les spécialistes et les sylviculteurs sont tout à fait d'accord c'est la production de plants équilibrés et sans défauts rédhibitoires des parties aériennes et surtout racinaires.

Les premiers essais de reboisement en chêne liège par transplantation ont connu d'importants échecs. Bien que souvent attribuables aux facteurs défavorables de l'environnement, la mauvaise qualité des plants utilisés était parmi les facteurs les plus influents sur les mauvais résultats obtenus. En effet, les plants étaient élevés selon les techniques utilisées pour l'élevage de plants résineux comme le pin d'Alep, c'est-à-dire en sachet de polyéthylène avec fond rangés en planches au sol. En raison de sa forte croissance, le pivot orthotropique de chêne liège atteint rapidement le fond du sachet infranchissable, il dévie sa trajectoire en suivant une croissance plagiotropique continue aboutissant à la formation d'un enroulement racinaire de type chignon dépréciant fatalement la qualité des plants. Peu d'années après leur mise en terre, les racines déformées en pépinière s'étranglent sur elles-mêmes conduisant au dépérissement total des plants. Bien que ce problème racinaire fut réglé avec l'avènement du mode de production en surélevé permettant le cernage aérien des racines empotées dans un conteneur sans fond type WM, d'autres défauts racinaires de même incidence que le chignon sur le futur des plants comme le nœud et la crosse au collet affectent toujours les plants de chêne liège.

À ces défauts racinaires, s'ajoutent d'autres contraintes majeures entravant fortement l'élevage de plants de chêne liège de bonne qualité. On cite notamment la disponibilité des glands suite à l'irrégularité des glandées connue pour cette espèce, la non disponibilité de substrats adaptés au mode d'élevage en surélevé notamment de point de vue porosité et rétention en eau ainsi que le choix de l'espace de croissance idéal (volume du conteneur) permettant aux plants d'atteindre des attributs morpho-physiologiques leur conférant une meilleure performance sur le terrain.

Ces contraintes et bien d'autres ne sont pas encore parfaitement résolues en raison de l'insuffisance des recherches relatives à l'élevage des plants de chêne liège de la semence au plant livrable à la plantation. C'est précisément, ces diverses contraintes qui ont fait l'objet de la présente thèse afin d'apporter des propositions et solutions pratiques pour lever ces contraintes majeures rencontrées en pépinière. Bien que les travaux n'aient porté dans l'ensemble que sur la phase pépinière, des résultats intéressants ont été obtenus sur l'effet des

paramètres étudiés sur la croissance et la qualité des plants de chêne liège. Les résultats obtenus, facilement reproductibles au niveau des pépinières, auront des conséquences pratiques permettant d'améliorer les chances de réussite des plantations en chêne liège.

L'intervention raisonnée sur les paramètres contrôlant la conservation des semences (glands) récalcitrantes de chêne liège (tri, ressuyage, enrobage préventif contre les agents de pourriture, température et contenant de conservation) permet de maintenir les glands en bon état physiologique, aptes à germer et fournir des plants de bonne qualité. La technique innovante de conservation développée dans le cadre de cette thèse permet, en effet, de réussir une longue et bonne conservation de glands. Cela permettra également d'approvisionner les pépinières en glands lors des années de faible glandée et d'assurer la continuité des programmes de régénération assistée (reboisement). En plus de la levée de la contrainte liée à la disponibilité des glands, la bonne conservation de glands permet d'utiliser toujours les meilleures provenances, de semer au bon moment, d'avoir une germination synchronisée et une levée homogène et par conséquent une homogénéité dans la taille de plants très utile lors de l'opération d'agrèage.

En ce qui concerne le substrat d'élevage, les résultats obtenus ont montré que les composts produits à base de branchage d'*Acacia cyanophylla* Lindl. avec ou sans stimulateur possèdent toutes les qualités requises pour un substrat destiné à la production de plants en surélevé. Les composts produits en trois mois sont légers, poreux, riches en matière organique et en azote, avec des propriétés chimiques (pH, CE et C/N) convenables à l'élevage de plants et indemnes de pathogènes et d'adventices. Par comparaison avec le témoin sans compost, les substrats confectionnés à base de compost ont permis de produire, en l'espace de six mois, des plants de chêne liège répondant aux standards de qualité, ayant des racines bien formées et bien garnis avec une bonne capacité de régénération racinaire et une meilleure reprise après transplantation.

Par ailleurs, par les corrélations positives observées entre certaines variables de croissance et la reprise des plants, on peut suggérer les attributs diamètre au collet, rapport H/D et capacité de régénération racinaire comme attributs fiables pour prédire la performance post-plantation des plants de chêne liège. Ces trois attributs pourraient être intégrés dans l'opération d'agrèage de plants de cette espèce destinés aux reboisements.

De plus, il a été observé, que le compost offre les meilleures conditions pour la formation d'un système racinaire bien garni et colonisant la totalité de la motte. L'extraction des plants du conteneur laisse voir un chevelu racinaire dense avec de nombreuses pointes blanches permettant une bonne régénération racinaire après plantation. Cette bonne cohésion de la motte permet, en outre, une meilleure protection des racines lors des différentes manipulations liées à la plantation (transport de la pépinière au site de plantation, mise en jauge, déplacement dans le chantier de plantation, extraction des plants du conteneur à la plantation). Cet avantage des substrats à base de compost constitue une solution efficace aux dommages occasionnés aux plants élevés dans des substrats à base de terre. En effet, dans ces derniers on constate souvent l'effritement des mottes formées occasionnant la détérioration et le dessèchement des racines même avant la plantation.

Le rendement en compost a été estimé à 60 % du broyat mis à composter. Un hectare planté en *Acacia cyanophylla* d'une densité de 1000 arbres /ha peut fournir un volume de 555 m³ de compost prêt à utilisation. Ce compost permet de produire 1 387 500 plants en conteneur WM de 400 cm³ ordinairement utilisé en pépinière. Le compostage constitue une solution saine pour la valorisation de cette Fabacée arborée invasive et qui est largement plantée ses dernières années le long des talus des routes à travers le pays. En plus d'être une pratique écologique, la généralisation de l'approche simple de compostage, décrite dans le cadre de cette thèse, pourra bénéficier aux pépinières pour la production de compost à base d'*Acacia cyanophylla* ou toute autre matière organique compostable et disponible localement comme alternative aux substrats à base de terre peu performants.

Les déformations racinaires ont été reconnues depuis longtemps comme une fatalité pour les plants. Les résultats appuyés par les analyses statistiques ont montré que la longueur de la racine avait un effet significatif sur le type et le pourcentage de déformations racinaires observées chez les plants de chêne liège en pépinière.

Le nombre de déformations rédhibitoires de type nœud et crosse au collet augmentait positivement et significativement avec la longueur de la racine des glands semés germés soit durant la conservation en chambre froide ou après stratification humide.

Afin de minimiser l'occurrence de déformations racinaires en pépinière, on préconise de semer avec des glands intacts (non germés) ou à défaut avec des glands prégermés après stratification mais dont la racine ne dépassant pas 5 mm de longueur. Le semis de printemps

(avril) permet d'avoir les meilleurs résultats. En résumé, il faut pouvoir conserver les glands en bon état physiologique, de la récolte au semis, suivant les consignes de conservation définies dans le cadre de cette thèse.

Les résultats ont montré également que la relation semence-plant ne s'est manifestée pour aucun stade de développement des plants. Les efforts devraient être, de ce fait, orientés vers la sélection de bonnes sources de récolte au lieu d'un tri laborieux sur la base de la taille de glands. Dans l'attente de disposer de plus amples données sur la relation provenance-plant à partir de protocoles expérimentaux en cours, un compartimentage de la production en pépinière, basé sur la provenance, est fortement recommandé.

L'efficacité du conteneur WM contre les déformations racinaires de type chignon induites par le sachet en polyéthylène a été confirmée. Toutefois, l'élevage de plants de chêne liège en conteneur WM de plus de 400 cm³ de volume semble favoriser beaucoup plus la croissance des plants que leur qualité. En effet, les indices de vigueur calculés étaient, dans l'ensemble, plus proches aux standards chez les plants élevés en conteneur de 400 cm³ que chez les plants élevés en conteneurs de 800 et 1200 cm³. En plus des désavantages de qualité, les plants élevés en large conteneur reviennent plus chers car ils requièrent plus de substrat et plus d'espace en pépinière. A la lumière des résultats obtenus lors de cette étude, nous appuyons l'élevage des plants de chêne en conteneur WM 400 cm³.

VI.3. Perspectives de recherche

Les résultats obtenus dans le cadre de cette thèse devraient permettre d'améliorer sensiblement la qualité des plants de chêne liège qui étaient jusque-là soumis à plusieurs contraintes. Il n'en demeure pas moins que des recherches complémentaires devraient être développées pour une production de plants encore plus performants. A la lumière des résultats obtenus cinq thématiques de recherche sont à encourager.

1) Élargissement du champ de recherche de la matière à composter, selon la démarche utilisée pour l'*Acacia cyanophylla*, à d'autres espèces végétales considérées comme invasives, aux résidus de taille d'arbres en ville et d'entretiens de jardins et d'espaces verts, aux résidus des opérations d'assainissement et de débroussaillage en forêt et à tout autre résidu organique des industries de transformation comme la sciure de bois, les grignons d'olives, les noix d'abricots, etc.

2) Étude de l'aptitude à la conservation au froid en fonction des provenances et des arbres producteurs en ciblant en particulier les peuplements porte-graines et les arbres semenciers à partir desquels devrait se faire la collecte de glands pour les reboisements. Cette étude permettrait de prévenir la germination précoce au cours du processus de conservation, la température de conservation peut être revue à la baisse après des tests de tolérance au gel des glands.

3) Recherche des facteurs impliqués dans l'apparition des déformations racinaires de type nœud et crosse au collet en tenant compte du facteur génétique, des conditions de germination (température, humidité et lumière) et des régulateurs de croissance. L'observation en rhizotrons devrait permettre de mieux expliquer la genèse des différentes déformations.

4) Étude des effets à long terme des déformations racinaires, classées en degrés de sévérité, sur la croissance et la survie des plants après transplantation ;

5) Évaluation des effets du sevrage et de la mycorrhization contrôlée sur la résistance des plants au stress hydrique ;

6) Recherche de standards de qualité pour les plants de chêne liège à l'issue de tests de performance en pépinière et après transplantation.

Enfin nous espérons, qu'au-delà des apports des nouvelles connaissances sur la physiologie du chêne liège en phase pépinière, cette thèse permettra d'aider et d'orienter efficacement les gestionnaires des pépinières par la mise en pratique des résultats acquis des différents aspects traités et répondre à l'objectif majeur qui est l'amélioration de la qualité des plants de chêne liège en pépinière.



RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Abbas M., 2013. Incidence économique des feux de forêts sur les subéraies. Com. Ora. Journées d'étude sur la réhabilitation des subéraies incendiées et reboisement. Université de Tlemcen, 16-17 Janvier 2013.

Abdul Baki A.A., J.D. Anderson., 1973. Vigour determinations in soybean seed multiple criteria. *Crop science*, 13: 630-633.

Alili N., 1983. Contribution à l'étude de la régénération naturelle du chêne liège dans la forêt domaniale de Beni Ghobri (W. Tizi Ouzou). *Mém. Ing. Agr. INA (El-Harrach)*, 75 p.

Allaire E.S., Caron J., Duschene I., Parent L.E., Rioux J.A., 1996. Air-filled porosity, gas relative diffusivity and tortuosity: Indices of *Prunus x cistena* sp growth in peat substrates. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 121 (2) : 246-242.

Amandier L., 2006. Les causes de dépérissement du chêne liège et du chêne vert. Séminaire « Vitalité des peuplements des chênes- lièges et des chênes verts : situation actuelle, état des connaissances et actions à entreprendre. 25-26 octobre 2006, Evora, Portugal, pp : 3.

Ammari Y., Lamhamedi M.S., Akrimi N., Zine EL Abidine A., 2003. Compostage de la biomasse forestière et son utilisation comme substrat de croissance pour la production de plants en pépinières forestières modernes. *Revue de l'INAT*, 18 (2) : 99- 119.

Amorini E., Fabbio G., 1992. The Issa system of production of container tree seedlings. *The tree planter's notes*, 43 (4): 146-149.

Amoroso G., Frangi P., Piatti R., Ferrini F., Fini A., Faoro M., 2010. Effect of container design on plant growth and root deformation of little leaf linden and field elm. *HortScience*, 45, 12: 1824–1829.

Aouka M. S., 1980. Etude de la régénération naturelle du chêne liège et de la production de liège de reproduction en fonction des facteurs de station de la série (V) des forêts domaniales d'El Milia (W. Jijel). *Mém. Ing. INA*, 45 p.

APCOR., 2012. Cork 2012. <http://www.apcor.pt/userfiles/File/Publicacoes/AnuarioAPCOR2012.pdf>

APCOR., 2018. APCOR'S cork yearbook. APCOR, 108 p.

Appleton B. L., 1995. New nursery production methods lead the tree root circling reduction or elimination. *Arboricultural journal*, 19: 161- 174.

Argillier C., Falconnet G., Gruez J., 1991. Production de plants forestiers méditerranéens hors-sol, In *Guide du forestier méditerranéen français*. Chapitre 6, Editions CEMAGREF (Aix en Provence), 40 p.

Argillier C., 1996. Le chêne liège : étude des techniques de production. Cemagref. Division Agriculture et Forêt Méditerranéenne. 2^{ème} rapport intermédiaire, 9 p.

Argillier C., Raymond V., Esteve R., 1999. Le chêne liège. Etude des techniques de production. Cemagref Aix – En- Provence. Rapport, 7 p.

- Aronson J., Periera J.S., Pausa J.G., 2009. Cork oak woodland on the edge. Ecology, adaptive management and restoration. Soc. Eco. Res. Int. Island press, 307 p.
- Arvier A.C., 1983. Storage of seed in warm climates. Queensland department of primary industries. Miscellaneous Publication, 22 p.
- Aubert G., 1978. Méthodes d'analyses des sols, CRDP Editions, Marseille, 191 p.
- Ball J.B., 1976. Plastic containers and coiling root. *Unasyuva*, 28 (111): 27.
- Batlo F., 1978. La rénovation des subéraies dans les Maures. *Revue forestière française*, XXX (1) :43 -49.
- Barnett J.P., 1969. Moisture stress affects germination of longleaf and slash pine seeds. *Forest science*, 15 (3): 275-276 p.
- Barnett J.P., 1981. Selecting containers for southern pine seedling production. *In: Proceedings of the Southern containerized forest tree seedling conference*, Eds Guilin RW. and Barnett J. P. US Department of agriculture/Forest service. Southern forest experiment station, New Orleans, Louisiana, General technical report SO-37, p. 15–24.
- Barrington S., Choinière D., Trigui M., Lighth W., 2002. Effect of carbon source on compost nitrogen and carbon losses. *Bioresources technology*, 83 (3) : 189- 194.
- Begum R.J., Jerlin R., Jayanthi M., 2013. Seed quality changes during storage of soil seeds- a review. *International journal of seed research*, 10: 1-2.
- Belghazi B., Ezzahiri M., EL Boukhari M., Bakry M., 2001a. Bilan actualisé des reboisements de chêne liège dans la forêt de la Mâamora. Act of the international meeting on silviculture of cork oak (*Quercus suber* L.) and cedar (*Cedrus atlantica* Endl.). Rabat, Morocco, 22-25 October 2001, pp 161-176.
- Belghazi B., Ezzahiri M., Amhajar M. & Benziane M., 2001b. Régénération artificielle du chêne liège dans la forêt de la Mâamora (Maroc). *Forêt méditerranéenne*, XXII (3) : 253- 261.
- Belghazi B., Nahidi A., Belghazi T., 2013. La qualité des plants de chêne liège en pépinière : effet du volume du conteneur et du substrat. *Forêt méditerranéenne*, XXXIV (1) : 35-44.
- Belkhodja N., 2015. Contribution à l'étude de la régénération naturelle de peuplement de chêne liège dans la forêt d'Ifri. *Mém. Mast. Univ. Tlem.*, 43 p.
- Bellarosa R., 2000. Introduction: Brief synthesis of the current knowledge on cork oak in Varela MC. Evaluation of genetic resources of cork oak for appropriate use in breeding and gene conservation strategies. Handbook of the concerted action FAIR 1CT95-0202. INIA. Estação Florestal Nacional, 127 p.
- Bellefontaine R., Monteuis O., 2002. Le drageonnage des arbres hors forêt : un moyen pour revégétaliser partiellement les zones arides et semi-arides sahéliennes. Actes du séminaire sur la multiplication végétative des ligneux forestiers, fruitiers et ornementaux. Cirad Editions. Montpellier, 13 p.

Benamirouche S., Dernane R., 1999. Influence de quelques substrats de culture sur le comportement des plants de chêne liège (*Quercus suber* L.) en pépinière hors-sol. Mém. Ing. INA, 73 p.

Benamirouche S., 2005. Les reboisements en Algérie de 1962 à 2002 : constitution d'une base de données, bilan et analyse. Mém. Mag. INA, 166 p.

Benamirouche S., Chouial M., 2018. Essai de production et de valorisation de compost d'*Acacia cyanophylla* pour la production de plants de chêne liège (*Quercus suber* L.) : résultats en pépinière et après transplantation. Déchets sciences et techniques, 75 : 21-32.

Ben Ammar S., 2006. Les enjeux de la caractérisation des déchets ménagers pour le choix de traitements adaptés dans les pays en développement. Résultats de la caractérisation dans le grand Tunis mise au point d'une méthode adaptée. Thèse de doctorat. Institut National Polytechnique de Lorraine, 281 p.

Bennadja S., 1993. Contribution à l'étude de l'influence de certaines techniques de semis et de plantation sur la reprise de chêne liège (*Quercus suber* L.) dans la région d'El-Kala au Nord-est algérien. Mém. Mag. Bio. Vég. Univ. Annaba, 87 p.

Benoît De Coignac G., 1981. Utilisation des composts d'ordures ménagères dans les reboisements en région méditerranéenne. Forêt méditerranéenne, III (1) : 21-24.

Ben Salem B., 1978. Root form of *Pinus pinea* seedlings grown in paperpot containers. In: Proceedings of the Root Form of Planted Trees Symposium, Eds Van Eerden E. and Kinghorn J. M. British Columbia Ministry of Forests/Canadian Forestry Service, Joint Report 8, p. 96–99.

Benseghir L.A., 1996. Amélioration des techniques de production hors-sol du chêne liège : Conteneur- substrat- nutrition minérale. Mast. Sci. For. CEMAGREF, 26 p.

Bergman F., 1976. Some important facts considering planting with rooted forest plants. The Forestry chronicle, 52 (6): 266-273.

Berjak P., N.W Pammenter., 1997. Progress in the understanding and manipulation of desiccation-sensitive (recalcitrant) seeds. In: Ellis RH, Black M, Murdoch AJ, Hong TD, editors. Basic and applied aspects of seed biology. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.1997: 689–703.

Berjak P., Pammenter N.W., 2008. From *Avicennia* to *Zizania*: Seed recalcitrance in perspective. Annals of botany, 101: 213-228.

Bernard A., 1926. La géographie botanique de l'Afrique du Nord. Annales de géographie, 35 (196) : 352-359.

Bernaola Paucar R.M., Zamora Natera J.F., Vargas Radillo J.J., Cetina Alcala V.M., Rodriguez Macias R., Salcedo Perez E., 2016. Plant quality of two pine species at nursery stage in a double transplanting system. Mexican journal of forest science, 7 (33): 74-93.

- Binotto A.F., Dal' Col Lúcio A., Lopes S.J., 2010. Correlations between growth variables and the Dickson quality index in forest seedlings. *Cerne Lavace*, 16 (4): 457-464.
- Blanc D., 1987. *Les cultures hors sol*, Deuxième édition INRA (Paris), 409 p.
- Bohbot H., Aronson J., Fontaine C., 2005. Distribution map of cork oak (*Quercus suber* L.). CEFE/CNRS, Montpellier, 1 p.
- Boland D.J., 1985. Seed collection techniques. Proceedings of a workshop on seed handling and eucalypt taxonomy at the Regional Seed Centre, Harare, Zimbabwe, 8-12 July 1985. Forestry commission of Zimbabwe (International development research center), 1985: 32- 58.
- Bonfil C., 1998. The effects of seed size, cotyledon reserves, and herbivory on seedling survival and growth in *Quercus rugosa* and *Quercus Laurina* (Fagaceae). *American journal of botany*, 85 (1): 79–87.
- Bonner F.T., 1981. Measurement and management of tree seed moisture. USDA For. Serv. Res. Pap. RP-SO-177, 16 p.
- Bonner F.T., 1982. The effect of damaged radicles of presprouted red oak acorns on seedling production. *Tree planter's notes*, 33: 13-15.
- Bonner F.T., 1987. Importance of seed size in germination and seedling growth. In: Kamra S.K. & Ayling R.D. (eds.), Proceedings of the international symposium on forest seed problems in Africa, Harare, Zimbabwe, August 23 - September 2, 1987: 53-61.
- Bonner F.T., Vozzo J.A., 1987. Seed biology and technology of *Quercus*. Gen. Tech. Rep. SO-66. New Orleans, LA: U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, 21 p.
- Bonner F.T., 1996. Responses to drying of recalcitrant seeds of *Quercus nigra* L. *Annals of botany*, 78: 181-187.
- Bonner F.T., 2003. Collection and care of acorns: a practical guide for seed collectors and nursery managers. Version 1.1 (2003), 28 p.
- Bonner F.T., 2008. Woody plant seed manual. Chapter 4: Storage of seed. USDA FS Agriculture Handbook ,727: 85- 96.
- Bonny L., 1987. Seed germination test methods used for Australian tree species at Coffs Harbour research centre. Forestry commission of New South Wales. Technical paper.9, 38 p.
- Bouderrah M., Zine El Abidine A., Bounakhla A., Lamhamedi M.S., Zouahri A., Mounir F., 2017. Qualité morpho-physiologique des plants de chêne liège *Quercus suber* L., produits dans des pépinières forestières au Maroc. *Bois et forêts des tropiques*, 333 (3) : 31-42.
- Boudy P., 1952. *Guide du forestier en Afrique du Nord*. La Maison Rustique. Paris, 505 p.

Bouhraoua R.T., Villemant C., Khelil M.A., Bouchaour S., 2002. Situation sanitaire de quelques subéraies de l'ouest algérien : impact des xylophages. IOBC/wprs Bulletin 25 : 85-92.

Bouhraoua R.T., Piazzetta R., Berriah A., 2014. Les reboisements en chêne liège en Algérie, entre contraintes écologiques et exigences techniques. Forêt méditerranéenne, XXXV (2): 171-176.

Branco M., Branco C., Merouani H., Almeida M.H., 2002. Germination success, survival and seedling vigour of *Quercus suber* acorns in relation to insect damage. Forest ecology and management, 166: 159-194.

Brissette J.C., Barnett J.P., Landis T.D., 2012. Container seedlings. *In*: Forest regeneration manual, Eds Duryea M.L. and Dougherty P.M. Kluwer academic publisher, Dordrecht, p. 117-141.

Burdett A. N., Simpson D.G., Thompson C.F., 1983. Root development and plantation establishment success. Plant and soil, 71 :103-110.

Caliskan S., 2014. Germination and seedling growth of holm oak (*Quercus ilex*): effects of provenance, temperature and radicle pruning. iForest- Biogeosciences and forestry, 7: 103-109.

Camus A., 1934. Les chênes: Monographie du genre *Quercus*. Paul Lechevallier&Fils, 1314p.

Cantat R., Piazzetta R., 2005. La levée du liège : ce qu'il faut savoir sur l'exploitation du chêne liège. Guide édité par l'Institut Méditerranéen du liège (IML), 25 p.

Cantliffe D.J., 1993. Pre and postharvest practices for improved vegetable transplant quality. Hort Technology, 3:415-417.

Carlson L.W., Nairn L.D., 1978. Root deformities in some container-grown Jack pine in Southeastern Manitoba. The forestry chronicle, 53 (3) : 1-3.

Castle W.S., 1983. Antitranspirant and root and canopy pruning effects on mechanically transplanted eight-year old 'Murcott' citrus trees. Journal of the American society of horticultural science, 108: 981-985.

Chagnon E., 1995. Etude des conséquences de la qualité des glands sur la forme ultérieure des plants en pépinière et en forêt *Quercus rubor* L. et *Quercus petraea* Lieblein L. Mémoire de fin d'étude. ENITPH d'Angers, 83 p.

Charnay F., 2005. Compostage des déchets urbains dans les Pays en Développement : élaboration d'une démarche méthodologique pour une production pérenne de compost. Thèse de Doctorat. Université de Limoges, 212 p.

Chavasse C.G.R., 1978. The root form and stability of planted trees, with special reference to nursery and establishment practice. *In*: Proceedings of the root form of planted trees

symposium, Eds. Van Eerden E. and Kinghorn J. M. British Columbia Ministry of Forests/Canadian forestry service, joint report 8, p. 54–64.

Chebouti Y., Mihoubi A., Maamar-kouadri K., Mokadem M., 2020. Agréage des plants forestiers en pépinière dans la Mitidja (Algérie). *Revue Agrobiologia*, 10(1): 1897-1903.

Chin H.F., Krishnapillay B., Stanwood P.C., 1989. Seed moisture: recalcitrant vs. orthodox seeds in seed moisture (Ed P.C. Stanwood and M.B. McDonald). *Corp science society of America*, Madison: 15- 22.

Chin H.F., Robert E.H., 1980. Recalcitrant crop seeds. Tropical Press SDN. BDH Kuala Lumpur, Malaysia, 71 p.

Chirino I.E., Vilagrosa A., Hernández E.I., Matos A., Vallejo V.R., 2008. Effects of a deep container on morpho-functional characteristics and root colonization in *Quercus suber* L. seedlings for reforestation in Mediterranean climate. *Forest ecology and management*, 256 (4): 779-785.

Cho S.H., Lin T.P., Kuo- Huang L., 2001. Ultrastructural study of the recalcitrant seeds of *Machilus thunbergii* Sieb. & Zucc. *Taiwania*, 46 (2) : 125- 134.

Chouial M., Benamirouche S., 2016. Effect of sowing methods on growth and root deformations of containerized cork oak (*Quercus suber* L.) seedlings in nursery. *Ecologia mediterranea*, 42 (1) : 21-28.

Chouial A., Roula B., 2016. Essai de régénération assistée à l'aide de glands prégermés dans une forêt de chêne liège à Oued Kissir- Jijel (12 ans après). *Forêt algérienne*, 11 : 15-24.

Chouial M., 2004. Effet de certaines techniques de semis sur la reprise et la croissance de chêne liège (*Quercus suber* L.) dans la région de Jijel. *Journal algérien des régions arides*, (3) : 23-35.

Claudot A., 1974. Récolte- conservation- semis de chênes méditerranéens. Document de Travail. CTGREF (Aix-en-Provence), 31 p.

Clor M. A., Al-Ani T.A., Charchafchy F., 1976. Germinability and Seedling Vigour of *Haloxylon salicornicum* as affected by storage and seed size. *Journal of range management*, 29: 60- 62.

CNREF., 1980. Essences de reboisement et parasites : prévention, écologie et amélioration forestière. Station centrale de recherche et d'expérimentation en ecologie forestière, Algérie, 10 p.

Cochran W.G., Cox G.M., 1992. *Experimental designs*. 2nd edition. Wiley, New York. 640 p.
Cogliastro A., Halle A., Labrecque M., Daigle S., 1995. Evaluation de trois contenants pour la production de plants d'espèces feuillues de fortes dimensions. *Forestry chronicle*, 71: 459-465.

Connor K. F., Bonner F.T., 1998. Physiology and biochemistry of recalcitrant *Guarea guidonia* (L.) Sleumer seeds. *Seed technology*, 20 (1):31- 42.

- Connor K.F., Sowa S., 2003. Effects of desiccation on the physiology and biochemistry of *Quercus alba* acorns. *Tree physiology*, 23 : 1147 –1152.
- Corbineau F., Bernard R., 2001. Le gland : une semence courante imparfaitement maîtrisée. *Revue forestière française*, LIII (1): 29-31.
- Corbineau F., Dacher F., Come D., 2001. Influence de la durée de conservation des glands au froid et de la température de germination sur le développement des plantules du chêne sessile. *Revue forestière française*, LIII (1): 32- 43
- Crocker W., Barton L.V., 1953. *Physiology of seeds*. Waltham, Mass., USA, 267 p.
- Crocker W., Barton L.V., 1957. *Physiology of seeds. An introduction to the experimental study of seed and germination problems*. Chronica Botanica Co., Waltham. Mass., USA, 267 p.
- Corkup., 2019. Le liège, matière naturelle : fabrication, caractéristiques et utilisations. <https://corkup.fr/le-liege-fabrication-caracteristiques/>
- Coutts M.P., Bowen MR., 1973. *Tree physiology. Report on forest research*. Forestry Commission (London), p. 89-93.
- Dahmani J., Benabid A., Douira A., El Hassani M., 2000. Influence du couvert végétal sur la régénération naturelle du chêne liège en forêt de la Maâmora. *Annales de recherche forestière au maroc*, (33) : 64- 67.
- Davis A.S., Jacobs D.F., 2005. Quantifying root system quality of nursery seedlings and relationship to outplanting performance. *New forests*, 30 : 295-311.
- Daws M.I., Gamene C.S., Glidewell S.M., Pritchard H.W., 2004. Seed mass variation potentially masks a single critical water content in recalcitrant seeds. *Seed science research*, 14: 185-195.
- Daws M.I., Cleland H., Chmielarz P., Gorian F., Leprince O., Mullins C.E., Thanos C.A., Vandvik V., Pritchard H.W., 2006. Variable desiccation tolerance in *Acer pseudoplatanus* seeds in relation to developmental conditions: a case of phenotypic recalcitrance? *Functional plant biology*, 33: 59–66.
- De Champs J., 1978. Influence de divers conteneurs sur l'enracinement de quelques résineux plantés en France. *In: Proceedings of the root form of planted trees symposium*, Eds Van Eerden E., Kinghorn J. M. British Columbia ministry of forests/Canadian forestry service, Joint Report 8, p. 133-140.
- Devine D.W., Harrington A.C., Southworth D., 2009. Improving root growth and morphology of containerized Oregon White Oak seedlings. *The tree planter's notes*, 53 : 29-34.
- Dey D.C., Parker W.C., 1997. Morphological indicators of stock quality and field performance of red oak (*Quercus rubra* L.) seedlings underplanted in a central Ontario shelter wood. *New forests*, 14: 145-156.

DGF., 1999. Rapport national relatif à la mise en œuvre de la convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification. DGF, 23 p.

DGF., 2016. Statistiques sur la production annuelle du liège en Algérie. Direction Générale des Forêts, Alger. pp. 5

Díaz-Fernandez P.M., Gil Sanchez L., 1998. La régénération naturelle dans les peuplements marginaux de chêne-liège. *In* : Actes du séminaire méditerranéen sur la régénération des forêts de chêne-liège, Tabarka 22-24 Octobre 1996. Annales de l'INRGREF, N° special: 22-34.

Díaz- Fernández PM., 2000. Variabilidad de la fenología y del ciclo reproductor de *Quercus suber* L. en la Península Ibérica. PhD thesis. Universidad Politécnica de Madrid, 124 p.

Dickson A., Leaf A.L., Hosner J.F., 1960. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nursery. *Forestry chronicle*, 36 : 10-13.

Djaoud A., 2004. Contribution à l'étude de la régénération et du comportement du chêne liège (*Quercus suber* L.) dans la région d'Azazga – Kabylie- Algérie. *Mém. Mag. Univ. Tizi Ouzou*. 151 p.

Djellabi A., Chouial A., Bezzaz F., Kahia F., 2004. Essai de confection de substrats de culture à base de tourbes locales dans la production de plants forestiers en pépinière hors sol. *Revue forêt algérienne*, 6 : 20-23.

Djinit S., 1977. Etude des facteurs limitant la régénération naturelle par semis de *Quercus suber* L. dans la forêt domaniale de Guerrouch (Jijel). *Mém. Ing. Agr. INA*, 80 p.

Djouahir N., Metna B., 1994. Etude de la régénération naturelle de *Quercus suber* L. dans la forêt domaniale des Beni- Ghobri. *Mém. Ing. Univ. Tizi Ouzou*, 60 p.

Domínguez Lerena S., 1999. Influencia de distintos tipos de contenedores en el desarrollo en campo de *Pinus pinea* y *Quercus ilex*. *In*: Reunión de coordinación del Programa I+D Forestal, Fundación CEAM. Fundación CEAM, Castellón de la Plana: 81-88.

Dominguez Lerena S., Herrero Sierra N., Carrasco Manzano I., Ocana Bueno I., Penulas Rubira J.L., Mexal J.G., 2006. Container characteristics influence *Pinus pinea* seedling development in nursery and field. *Forest ecology and management*, 2221: 63-71.

Dugelay A., 1951. La remise en valeur des forêts de chênes- lièges incendiées. *Revue forestière française*, 11:687 -694.

Dupont F., Gignard J.L., 2015. Botanique : les familles de plantes. 16^{ème} édition. Elsevier Masson, 388 p.

Duryea M. L., 1984. Nursery cultural practices: impacts on seedling quality. *In*: Forest nursery manual: Production of bare root seedlings (M. L. Duryea and T. D. Landis, eds). Martinus Nijhoff/Dr W. Junk Publishers, pp. 143-164.

- El Afsa M., 1978. Ecologie, phytosociologie, régénération et production des subéraies tunisiennes. Th. Doc. 3^{ième} cycle. Univ. Aix Marseille III, 193 p.
- Elam W., Hodges J.D., Moorhead D., 1981. Production of containerized southern red oaks and their performance after outplanting. In: Guilin R.D and Barnett J. (eds.), Proceedings of the southern containerized forest tree seedling conference; 1981 August 25-27, Savannah, Georgia: 69-76.
- El Kbiach M.L., Lamarti A., Badoc A., 2001. Culture in vitro du chêne liège (*Quercus suber* L.). Bulletin de la société de pharmacie de Bordeaux, 140 : 89-110.
- Endean F., Carlson L.M., 1975. The effect of rooting volume on the early growth of Lodgepole pine seedlings. Canadian journal of forest research, 5: 55- 60.
- Ertas A., 2002. Effect of radicle clipping on sessile oak (*Quercus petraea* Lieb.) seedling's root surface area and number of taproots. In: Proceedings of the third Belkan scientific conference "study, conservation and utilization of forest resources. Sofia (Bulgaria), Vol.2, p. 159-164.
- FAO., 2000. Etude prospective du secteur forestier en Afrique: L'Algérie. FAO. Rome, 50 p.
- FAO., 2007. Situation des forêts du monde. FAO. Rome, 60 p.
- Fellah A. 1978. Problèmes des substrats en pépinières forestières et les effets d'utilisation d'un compost. Mém. Ing. INA El-Harrach, 45 p.
- Finch-Savage W.E., Clay H.A., Blak P.S., Browning G., 1992. Seed development in the recalcitrant species *Quercus robur* L.: water status and endogenous abscisic acid levels. Journal of experimental botany, 43: 671-679.
- Finstein, M. S., Morris, M. L., 1975. Microbiology of municipal solid waste composting. Advances in applied microbiology, 19 : 113-51.
- Fiorino P., Nicese F.P., Mingrone M., Riva L., 1998. Effect of different type of container on nursery-grown European hornbeam (*Carpinus betulus* 'Pyramidalis'). Atti IV Giornate Scientifiche SOI, San Remo, Italy, p.199-200.
- Foucard JC., 1994. Filière pépinière : de la production à la plantation. Technique et documentation-Lavoisier, 395 p.
- Fuchs J.G., Larbi M., 2005. Disease control with quality compost in pot and field trials. I International Conference Soil and Compost Eco-Biology, September 15th – 17th 2004, León – Spain. Disponible sur http://orgprints.org/4887/1/Fuchs-2005-Quality_Compost.pdf
- Gibson L., Ashby M., 1997. Cellular solids: Structure and properties, 2nd edition. Cambridge university press. Cambridge (UK), 510 p.
- Gilman E.F., Yeager T.H., 1987. Root pruning *Quercus virginiana* to promote a compact root system. Proceedings of the Southern Nurserymen's Association Research Conference. Annual report, 32, p. 339–341.

- Gilman E.F., Kempf B., 2009. Strategies for growing a high-quality root system, trunk and crown in a container nursery. Urban tree foundation 115 S. Dollner Ave. Visalia, Ca 93291. Ed. Gilman and Brian Kempf., 28 p.
- González-Rodríguez V., Navarro-Cerrillo R.M., Villar R., 2011a. Artificial regeneration with *Quercus ilex* L. and *Quercus suber* L. by direct seeding and planting in southern Spain. *Annals of forest science*, 68: 637–646.
- González-Rodríguez V., Villar R., Navarro-Cerrillo R.M. 2011b. Maternal influences on seed weight effect and initial seedling growth in four *Quercus* species. *Acta oecologica*, 37 (1):1-9.
- Gosling P.G., 1989. The effect of drying *Quercus robur* acorns to different moisture contents, followed by storage, either with or without imbibition. *Forestry*, 62: 41- 50.
- Gosling P.G., 2002. Handling and storing acorns, chestnuts and sycamore. Forestry commission. Practice note, 8 p.
- Greggains V., Finch-Savage W.E., Paul Quick W., Atherton N.M., 2000. Metabolism induced free radical activity does not contribute significantly to loss of viability in moist stored recalcitrant seeds of contrasting species. *New Phytologist*, 148: 267- 276.
- Gregorio N.O., Herbohn J.L., Harrison S.R., 2006. Guide to quality seedling production in smallholder nurseries. Foundation for Agricultural Research and Development, Inc. and College of Forestry and Natural Resources, Visayas State University, Visca, Baybay City, Leyte, Philippines, 43 p.
- Greene S., 1978. Root deformations reduce root growth and stability. *In: Proceedings of the Root Form of Planted Trees Symposium*, Eds Van Eerden E. and Kinghorn J. M. British Columbia Ministry of Forests/Canadian Forestry Service, Joint Report 8, p. 150–155.
- Grime J.P., Jeffrey D.W., 1965. Seedling establishment in vertical gradients of sunlight. *Journal of ecology*, 53:621–642.
- Grossnickle S.C., 2005. Importance of root growth in overcoming planting stress. *New forests*, 30 (2-3): 273- 294.
- Grossnickle S.C., 2012. Why seedlings survive: influence of plant attributes. *New forests*, 43 (5-6): 711-738.
- Grossnickle S.C., MacDonald J.E., 2018. Seedling quality: History, application and plant attributes. *Forests*, 9 (5) : 283.
- Grundy A.C., Green J.M., Lennartsson M., 1998. The effects of temperature on the viability of weed seeds in compost. *Compost sciences and utilization*, 3 : 26 -33.
- Guedira A., Lamhamedi M.S., Satrani B., Boulmane M., Serrar M., Douira A., 2011. Valorisation des matières résiduelles et de la biomasse forestière au Maroc : compostage et confection de substrats organiques pour la production de plants forestiers. *Nature et technologie*, 7 : 87-95.

Guibert M., Le Pichon C., 1998. Influence de la qualité des glands sur la qualité des plants de chêne (2^{ème} tranche). Convention DERF/CEMAGREF N°61.21.11/96. Rapport Final, 72 p.

Haase D.L., Rose R., 2004. Evaluating seedling quality: The basics. *North Woodlands*, 20 (1): 26-28.

Hachachena S., 1995. Contribution à l'étude des techniques de renouvellement de *Quercus suber* dans la forêt domaniale de Baïnem. Mém. Ing. INA (El- Harrach), 70 p.

Hahn P., Hutchison S., 1978. Root form of planted trees and their performance. *In: Proceedings of the Root Form of Planted Trees Symposium*, Eds Van Eerden E. and Kinghorn J. M. British Columbia Ministry of Forests/Canadian Forestry Service, Joint Report 8, p. 235-240.

Harrington J. F., 1972. Seed storage and longevity. Pages 145-245 in *Seed biology* (T. T. Kozlowski, ed.). Vol. 111. Academic Press, New York and London.

Harris J.R., Fanelli J., Niemiera A., Wright R., 2001. Root pruning Pin oak liners affects growth and root morphology. *Hort. Technology*, 11 (1): 49-52.

Hasnaoui B., 1995. Déséquilibre de l'écosystème forestier et ses conséquences sur la faune sauvage en Tunisie : cas du sanglier et du cerf de Barbarie. *Forêt méditerranéenne*, XVI (3): 361-368.

Hasnaoui B., 1998. Régénération naturelle du chêne-liège : difficultés et proposition de solutions. *In : Actes du séminaire méditerranéen sur la régénération des forêts de chêne-liège*, Tabarka 22-24 Octobre 1996. Ann. INRGREF. N° special: 126-147.

Heit C. E., 1967. Propagation from seed. Part 10: Storage methods for conifer seeds. *American nurseryman*, 126:14-15; 38-54.

Hendry G.A.F., Finch-Savage W., Thorpe P.C., Atherton N.M., Buckland S.M., Nilsson K.A., Seel W.E., 1992. Free radical processes and loss of seed viability during desiccation in the recalcitrant species *Quercus robur* L. *New phytologist*, 122: 273-279.

Hocking D., Mitchell D.L., 1974. The influences of rooting volume: seedling escapement and substratum density on greenhouse growth of lodgepole pine, white spruce, and Douglas- fir grown in extruded peat cylinders. *Canadian journal of forest research*, 5: 440-451.

Hoitink, H.A.J., Stone A.G., Han D.Y., 1997. Suppression of plant diseases by composts. *Hortscience*, 32: 184-187.

Holmes G.D., Buszewicz G., 1958. The storage of seed of temperate forest tree species. *Forestry abstracts*, 19: 455-475.

Hong T.D., Ellis R.H., 1996. A protocol to determine seed storage behaviour. IPGRI Technical Bulletin No. 1. (J.M.M. Engels and J. Toll, vol. eds.) International plant genetic resources institute, Rome, Italy, 62 p.

Hong T.D., Linington S., Ellis R.H., 1996. Seed storage behavior: a compendium. *Handbooks for genebanks N°4*. International plant genetic resources institute (IPGRI), 115 p.

Houston Durrant T., De Rigo D., Caudullo G., 2016. *Quercus suber* in Europe: distribution, habitat, usages and threats. In: San-Miguel- Ayanz J, Caudullo G, Huston Durrant T, Mauri A. (eds.), European atlas of forest tree species. Pub. Off. Eu, Luxembourg, pp. e01ff11+

Howell K.D., Harrington T.B., 2004. Nursery practices influence seedling morphology, field performance, and cost efficiency of containerized cherrybark oak. Southern journal of applied forestry, 28: 152-162.

Hultén H., Jansson K.A., 1978. Stability and root deformation of pine plants (*Pinus sylvestris*). Royale college of forestry. Department of reforestation. Report 93, 84 p.

Huss E., 1954. Studies on the importance of water content for the storage of conifer seed. Meddelanden fran Statens Skogsforsknings institut (Sweden) 44 (7), 60 p. Forestry abstracts, 16:1633).

Iakovoglou V., Parkin T.B., Hall R.B., Misra M.K., 2014. Gas chromatograph analysis on closed nitrous oxide and air atmospheres of recalcitrant *Quercus alba* seeds. Scandinavian journal of forest research, 29: 415-420

IML., 2000. Guide de subériculture des Pyrénées-Orientales. Institut méditerranéen du liège (IML) et BRL, 38 p.

Jaenicke H., 2006. Bonnes pratiques de culture en pépinière forestière. Directives pratiques pour les pépinières de recherche. ICRAF. Manuel technique, 3, 89 p.

Jarvis P.G., 1963. The effects of acorn size and provenance on the growth of seedlings of sessile oak. Quarterly journal of forestry, 57: 11- 19.

Jelić G., Topić V., Boora L., Jazbec A., Oršanić M., Durdević Z., 2015. The impact of the container size and soil preparation on afforestation success of one year old holm oak (*Quercus ilex*) seedlings in Croatian Mediterranean area. Periodicum Biologum, 117 (4):493-503.

Johnson G.R., Hauer R.J., 2000. A practitioner's guide to stem girdling roots of trees. University of Minnesota Extension Service, St. Paul, 20 p.

Johnson P.S., Shifley S.R., Rogers R., 2002. The ecology and silviculture of oaks. CABI Publishing, 489 p.

Justice O.L., Bass L.N., 1978. Principles and practices of seed storage. Agriculture Handbook 506, USDA, National Agricultural Library, 289 p.

Kahia F., Djellabi A., Zitouni A., 2004. Recherche de substrats de culture à base de matériaux locaux pour la production de plants forestiers en hors sol. La forêt algérienne, 6: 15-19.

Kaushal P., Aussenac G., 1989. Transplanting shock in Corsican pine and cedar of Atlas seedlings: internal water deficit, growth and root regeneration. Forest ecology and management, 27: 29-40.

Khaldi A., Belghazi B., Ezzahiri M., Aloui J., 2001. Bilan actualisé de la régénération du chêne liège en Kroumirie Mogods- Tunisie. Act of the international meeting on silviculture

of cork oak (*Quercus suber* L.) and cedar (*Cedrus atlantica* Endl.). Rabat, Morocco, 22-25 October 2001, pp 133-146.

King M.W., Roberts E.H., 1980. Maintenance of recalcitrant seeds in storage. Pp. 53-89 Notes in Recalcitrant Crop Seeds (H.F. Chin and E.H. Roberts, eds.). Tropical Press, Kuala Lumpur.

Kinghorn J.M., 1974. Principles and concepts in container planting. *In*: Tinus R.W., Stein W.I. and Balmer W.E. (eds.), Proceedings of north american containerized forest tree seedling symposium, 26- 29 August 1974, Denver, Publ. 68. Great plains agricultural council pp. 8-18.

Kormanik P.P., 1988. Frequency distribution of first-order lateral roots in forest tree seedlings: silvicultural implications *In* U.S.D.A. For. SERV. Gen. Tech. Rep. SO-74. Southern forest experimental station, New Orleans LA : pp 101-105.

Kormanik P.P., Sung S.S., Kormanik T.L., Schlarbaum S.E., Zarnoch S.J., 1998. Effect of acorn size on development of northern red oak 1-0 seedlings. Canadian journal of forest research, 28: 1803- 1813.

Korstian C.F., 1927. Factors controlling germination and early survival in oaks. Yale school of forestry and environmental studies. Bulletin series, 19: 7- 115.

Kostopoulou P., Radoglou K., Dini Papanastasi O., Adamidou C., 2011. Effect of mini-plug container depth on root and shoot growth of four forest tree species during early development stage. Turkish journal of agriculture and forestry, 35: 379-390.

Lacaze J.F., 1968. Influence des déformations radiculaires au repiquage sur la croissance des plants d'Épicéa en pépinière. Revue Forestière Française, 9 : 580- 582.

Lamey A., 1893. Le chêne liège, sa culture et son exploitation. Ed. Berger & Cie, 289 p.

Lamhamedi M.S., Ammari Y., Fecteau B., Fortin A., Margolis H., 2000. Problématique des pépinières forestières en Afrique du Nord et stratégies d'orientation. Cahiers d'agriculture, 9: 369-380.

Lamhamedi M.S., Bertrand S., Fecteau B., 2000. Fondements théoriques et pratiques du compostage des branches et des écorces des essences forestières et leur utilisation dans les pépinières forestières en Tunisie. Projet Fonds Nordique NIB/NDF. Direction générale des forêts, Tunisie. Pampev Internationale, Montréal, Canada, 35 p.

Lamhamedi M.S., Fecteau B., Godin L., Gingras CH., El Aini R., Gader GH., Zarrouk M.A., 2006. Guide pratique de production hors sol de plants forestiers, pastoraux et ornementaux en Tunisie. Projet : ACIDI E4936-K061229. Direction Générale des Forêts, Tunisie et Pampev internationale LTEE, Canada, 114 p.

Landis T.D., Tinus R.W., McDonald S.E., Barnett J.P., 1990. The container tree nursery manual. Containers and growing media, Vol. 2. Agriculture Handbook 674. U.S.D.A forest service. Washington DC., p. 41-85.

- Landis T.D., 1990. Containers and growing media. Chapter 2: growing media. In the container tree nursery manual. Agricultural Handbook. Washington DC. US. Department of agriculture, Forest service, 1990, volume 2, pp. 41-85.
- Landis T.D., Dumroese R.K., Haase, D.L., 2010. Seedling processing, storage and outplanting. In the container tree nursery manual. Agricultural Handbook 674. Washington DC. US. Department of agriculture, Forest service, volume 7, 200 p.
- Larbi M., 2006. Influence de la qualité des composts et de leurs extraits sur la protection des plantes contre les maladies fongiques. Th. Doc. Univ. Neuchâtel, 117 p.
- Larbi H., Souidi Z., Ervedo G., Bellarosa R., 2013. L'amélioration de la régénération du chêne liège avec la sélection des écotypes les mieux adaptés à la sécheresse par l'utilisation de la culture *in vitro*. Journées d'étude sur la rehabilitation des suberaies incendiées et reboisements. Université de Tlemcen, 16-17 janvier 2013. Recueil des résumés, pp 66.
- Leaf A.L., Rathakette P., Solan F.M., 1978. Nursery seedling quality in relation to plantation performance. In: Van Erden E. & Kinghron J.M., (eds.), Proceeding of the root form of planted trees, symposium, Victoria, 16-19 May 1978: 45-50.
- Leishman M.R., Wright I.J., Moles A.T., WestobyM., 2000. The evolutionary ecology of seed size. In: FennerM (ed.), Seeds: the ecology of regeneration in plant communities, 2nd ed. CAB International, Wallingford: 31-57.
- Lemaire F., Dartigues A., Rivieres L.M., Charpentier S., 1989. Culture en pots et conteneurs. Principes agronomiques et applications. INRA, Paris, 181 p.
- Lemaire F., 2003. Cultures en pots et en conteneurs. Editions Quae, 210 p.
- Lepoutre B., 1965. Régénération artificielle du chêne-liège et équilibre climacique de la subéraie en forêt de la Mamora. Editions techniques nord-Africaines. Maroc, 188 p.
- Leskovar D.I., Cantliffe D.J., Stoffella P.G., 1990. Root growth and root-shoot interaction in transplant and direct seeded pepper plant. Journal of experimental botany, 30: 249-354.
- Letreuch- Belarouci N., 1981. Les reboisements en Algérie et leurs perspectives d'avenir. Thèse de doctorat. Université de Gembloux, 600 p.
- Leverkus A.B., Castro J., Puerta-Piñero C., Rey Benayas J.M., 2013. Suitability of the management of habitat complexity, acorn burial depth, and a chemical repellent for post-fire reforestation of oaks. Ecological engineering, 53 : 15-22.
- Lindström A., Rune G., 1999. Root deformation in plantations of container-grown Scots pine trees: effects on root growth, tree stability and stem straightness. Plant and soil, 217: 31-39.
- Luna T., Wilkinson K.M., Dumroese R.K., 2009. Vegetative propagation. In: Nursery manual for native plants: A guide for tribal nurseries - Volume 1: Nursery management, Eds Dumroese R.K, Luna T, Landis TD. Agriculture Handbook 730. Washington, D.C.: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, p. 153-175.

- Madeore C., 1996. Influence de la qualité des glands sur la qualité des plants de chêne. Convention DERF/ CEMAGREF N°61.21.02/95. Groupement de Nogent-sur-Vernisson. Rapport final, 123 p.
- Malençon G., Marion J., 1951. Un parasite des subéraies Nord-Africaines : *L'Hypoxyton Mediterraneum* (D. Ntrs) Ces. et D. Ntrs. Revue forestière française, 11 : 681- 686.
- Malik C. P., Jyoti U., 2013. Seed deterioration: a review. International Journal of life Science, botany and pharmacy, 2: 374- 385.
- Marshall D.L., 1986. Effect of seed size on seedling success in three species of *Sesbania* (Fabaceae). American journal of botany, 73: 457- 464.
- March H.W., Appleton B.L., 2004. Use of air –root- pruning containers in pot-in-pot systems. Proceedings of the Southern Nurserymen's Association Research Conference, 49: 51-53.
- Marshall M.D., Gilman E.F., 1998. Effects of nursery container type on root growth and landscape establishment of *Acer rubrum* L. Journal of environmental horticulture, 16 (1): 55 - 59.
- Mathers H.M., Lowe S.B., Scagel C., Struve D.K., Kase L.T., 2007. Abiotic factors influencing root growth of woody nursery plants in containers. Hort. Technology, 17 (2): 151-162.
- Mattsson A., 1997. Predicting field performance using seedling quality assessment. New forests, 13: 227- 252.
- McClain K.M., 1978. Black spruce raised in Ontario Tube can grow well. In: Proceedings of the Root Form of Planted Trees Symposium, Eds Van Eerden E. and Kinghorn J. M. British columbia ministry of forests/Canadian forestry service. Joint Report 8, p. 166–171.
- McComb A.L., 1934. The relation between acorn weight and the development of one year chestnut oak seedlings. Journal of forestry, 32: 479-484.
- McCreary D.D., 1996. The effects of stock type and radicle pruning on blue oak morphology and field performance. Annals of forest science, 53: 641-648.
- McDonald M.B., 1999. Seed deterioration: physiology, repair and assessment. Seed science and technology, 27: 177–237.
- Merouani H., 1996. Contribution à l'étude de la régénération naturelle du chêne liège (*Quercus suber* L.) : Maturité et germination des glands. Mém. Mag. Ecophys. Univ. Tizi Ouzou, 122 p.
- Merouani, H., Branco C., Almeida M.H., Pereira J.S., 2001. Comportement physiologique des glands de chêne liège (*Quercus suber* L.) durant leur conservation et variabilité inter individus producteurs. Annals of forest science, 58: 143- 153.
- Merouani H., Trubat R., Lourenço M.J., Sampaio T., Santos M.L., Cortina J., Pereira J.S., Almeida M. H., 2005. Le développement de champignons, un facteur limitant la conservation

à long terme des glands de chêne-liège (*Quercus suber* L.). Integrated Protection in Oak Forests IOBC/wprs Bulletin, 28 (8):129-136.

Messaoudène M., 1984. Rapport sur la parcelle de semis direct de chêne liège (projet de Tigrine). INRF, 10 p.

Messaoudène M., Metna B., Djouaher N., 1998. La régénération naturelle de *Quercus suber* L. dans la forêt domaniale des Beni- Ghobri (Algérie). In Actes du séminaire méditerranéen sur la régénération des forêts de chêne- Liège, Tabarka 22-24 Octobre 1996. Annales de l'INRGREF. N° spécial : 73-86.

Messaoudène M., 2000. Réflexion sur la structure des peuplements de chêne liège (*Quercus suber* L.) en Algérie. Revue forêt algérienne, 3 : 5- 9.

Mexal J., Burton S., 1978. Root development of Loblolly pine seedlings. In: Proceedings of the Root Form of Planted Trees Symposium, Eds Van Eerden E. and Kinghorn J. M. British columbia ministry of forests/Canadian forestry service. Joint report 8, p. 85–90.

Mexal J.G., Landis T.D., 1990. Target seedling concepts: height and diameter. In: Target Seedling Symposium, Eds Rose R, Campbell S.J. and Landis T.D. UDSA Forest Service, Roseburg, Oregon, p. 17-35.

Mezali M., 2003. Situation de la subéraie et production des lièges. Comm.Oral. Atelier Bejaia, 11 et 12 Mai 2003, 10 p.

Miller J.H., Jones N., 1995. Organic and compost-based growing media for tree seedlings nurseries. Washington, DC, Etats-Unis, Banque Mondiale, World Bank Technical papers, n°264, 75 p.

M'Sadak Y., Ben M'Barek A., Tayachi L., 2012a. Possibilités d'incorporation du méthacompost avicole dans la confection des substrats de culture à base de compost sylvicole en pépinière forestière. Nature et technologie, 6 : 59-70.

M'Sadak Y., Elouaer M.A., EL Kamel R., 2012b. Comportement physique des composts, des tamisas et des substrats pour une meilleure exploitation en pépinière. Revue de Génie Industriel, 8 : 44-54.

Musset R., 1935. Le chêne liège en URSS. Annales de géographie, 44 (248) : 218-219.

Nahar K., Ali M.H., Ruhul Amin A.K.M., Hasanuzzaman M., 2009. Moisture content and germination of Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under different storage conditions. Academic journal of plant sciences, 2 (4): 237-241.

Natividade J.V., 1956. Subériculture. Edition française de l'ouvrage portugais «Subericultura», ENEF (Nancy), 103p.

Nesmith D.S., Duval J.D., 1998. The effects of container size. Hort Technology, 8 (4): 495 - 498.

Nichols C.A., Alm A.A., 1983. Root development of container-reared, nursery-grown and naturally regenerated pine seedlings. Canadian journal of forest research, 13 (2): 239–245.

Noland T.L., Morneault A.E., Dey D.C., Deugo D., 2013. The effect of storage temperature and duration on northern red oak acorn viability and vigour. The forestry chronicle, 89 (6): 769- 776.

Olson, D.F. 1974. *Quercus* L. In Seeds of woody plants in the United States. U.S. Dep. Agric. For. Serv. Handbook, N°450. pp. 692-703.

Ortega U., Majada J., Mena-Petite A., Sanchezzabala J., Rodrigues- Iturrizar N., Txarterina K., 2006. Field performance of *Pinus radiata* D. Don produced in nursery with different types of containers. New forest, 31:97-112.

Ortega A., Lorite J., 2007. Macrofungi diversity in cork oak and holm oak forests in Andalusia (southern Spain): An efficient parameter for establishing priorities for its evaluation and conservation. Central european journal of biology, 2:1- 21.

Ozalp G., Erats A., 2001. Cork oak plantations in Turkey. Act of the international meeting on silviculture of cork oak (*Quercus suber* L.) and cedar (*Cedrus atlantica* Endl.). Rabat, Morocco, 22-26 October 2001, pp 147-151.

Özbingöl N., O'Reilly C., 2005. Increasing acorn moisture content followed by freezing storage enhances germination in pedunculate oak. Forestry, 78 (1): 73 81.

Pammenter N.W. Farrant J.M., Berjak P., 1984. Recalcitrant seeds: short- term storage effects in *Avicenna marina* (Forsk.) Vierh. May be germination associated. Annals of botany, 54: 843- 846.

Pausas J.G., Blade C., Valdecantos A., Seva J.P., Fuentes D., Alloza J.A., Vilagrosa A., Bautista S., Cortina J., Vallejo R., 2004. Pines and oaks in the restoration of Mediterranean landscapes of Spain: New perspectives for an old practice-a review. Plant ecology, 171: 209–220.

Pesendorfer M.B., 2014. The effect of seed size variation in *Quercus pacifica* on seedling establishment and growth. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR. 251:407–412.

Piazzetta R., 2005. Etat des lieux de la filière liège française. Institut méditerranéen du liège. Vivés, 11 p.

Pichon C.L., Guibert M., 2001. Evaluating the germination capacity of commercial seedlots of *Quercus petraea*. Seed science and technology, 29: 377-385.

Poulet D., 2006. Atelier "Vers la conception d'un programme intégré de recherche pour promouvoir l'amélioration et la restauration des forêts de chênes- liège et de chênes verts". Evora, 27 octobre 2006. Doc. Synth. AIFM, 12 p.

Prévosto B., Reque J., Ripert C., Gavinet J., Estève R. 2015. Semer les chênes méditerranéens (*Quercus ilex*, *Quercus pubescens*) : pourquoi, comment et avec quelle réussite ? Forêt méditerranéenne, 36 (1): 3-16.

- Pritchard H.W., 1991. Water potential and embryonic axis viability in recalcitrant seeds of *Quercus rubra*. *Annals of botany*, 67: 43-49.
- Puétrolas J., Jacob D.F., Benito L.F., Peñuelas J.L., 2012. Cost-benefit analysis of different container capacities and fertilization regimes in *Pinus* stock-type production for forest restoration in dry Mediterranean areas. *Ecological engineering*, 44: 210-215.
- Queru J.L., Villar R., Maranon T., Zamora R., Pooter L., 2007. Seed mass effects in four Mediterranean *Quercus* species (Fagaceae) growing in contrasting light environments. *American journal of botany*, 94 (11) : 1795-1803.
- Quézel P., Santa S., 1962. Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. CNRS. Paris, 2 vols, 1117 p.
- Reidacker A., 1977. Les systèmes racinaires de jeunes plants de hêtre de chêne : modification de leur morphogénèse par décapitation d'extrémités de racines et conséquences pratiques. *Annals of forest science*, 34: 111-135.
- Reidacker A., 1978. Étude de la déviation des racines horizontales ou obliques issues de boutures de peuplier qui rencontrent un obstacle : applications pour la conception de conteneurs. *Annals of forest science*, 35, 1 : 1-18.
- Richard P., 1987. Etude des facteurs explicatifs de la croissance du chêne-liège dans le VAR. ED. CEMAGREF, 72p.
- Ritchie G.A., 1984. Assessing seedling quality. *In: forest nursery manual: Production of bare root seedlings*, Eds Duryea M.L. and T.D Landis T.D. The Hague: Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers, Oregon State University, Corvallis, OR, p. 243-259.
- Roberts E.H., 1973. Predicting the storage life of seeds. *Seed science and technology*, 1: 499-514.
- Roberts E.H., King M.W., Ellis R.H., 1984. Recalcitrant seeds: their recognition and storage. *In: Crop genetic resources: their conservation and evaluation* (eds. J.H.W. Olden & J.T. Williams), George Allan and Unwin, London, pp. 38-52.
- Roos E.R., 1989. Long-term seed storage. *Plant Breeding Reviews*. 7:129–158.
- Roula S., 2001. Etude de la croissance de plants de chêne liège (*Quercus suber* L.) sur quelques substrats de culture en pépinière hors-sol. *Mém. Ing. Univ. Batna*, 100 p.
- Rune G., 2003. Slits in container wall improve root structure and stem straightness of outplanted Scots pine seedlings. *Silva fennica*, 37 (3): 333- 342.
- Ruter J.M., 1993. Growth and landscape performance of three landscape plants produced in conventional and in pot-in-pot productions systems. *Journal of environmental horticulture*, 11:124–127.
- Saccardy L., 1938. Le chêne liège et le liège en Algérie. *Revue de botanique appliquée et d'agriculture coloniale*, 203 : 488-497.

- Sahin U., Ors S., Ercisli S., Anapali O., Esitken A., 2005. Effect of pumice amendment on physical soil properties and strawberry plant growth. *Journal of central european agriculture*, 6 (3) : 361- 366.
- Sauvage C., 1961. Recherches géobotaniques sur les subéraies Marocaines. *Trav. Ins. Sci. Shérif., Bot.* 21, 454 p.
- Schrader J.A., Graves W.R., 2005. Seed germination of *Dirca* (Leatherwood): Pretreatments and interspecific comparaisons. *Horticultural science*, 40 (6): 1838- 1842.
- Schroeder W.R., Walker D.S., 1987. Effects of moisture content and storage temperatures on germination of *Quercus macrocarpa* acorns. *Journal of environmental horticulture*, 5: 22 –24.
- Schultz R.C., Thompson J.R., 1997. Effect of density control and undercutting on root morphology of 1+0 bare root hardwood seedlings: five-year field performance of root-graded stock in the central USA. *New forests*, 13 (1-3) : 301- 314.
- Segaran S., Dojack D.C., Rathwell R.K., 1978. Assessment of root deformities of Jack Pine (*Pinus Baksiana* Lamb.) planted in South-Eastern Manitoba. *In: Proceedings of the Root Form of Planted Trees Symposium*, Eds Van Eerden E. and Kinghorn J. M. British columbia ministry of forests/Canadian forestry service. Joint report 8, p. 197 -200.
- Seigue A., 1985. *La forêt circumméditerranéenne et ses problèmes*. Ed Maison Neuve. Paris, 350 p.
- Shaban M., 2013. Review on physiological aspects of seed deterioration. *International journal of agriculture and crop sciences*, 6 (11): 627-631.
- Shi W., Villar-Salvador P., Li G., Jiang X., 2019. Acorn size is more important than nursery fertilization for outplanting performance of *Quercus variabilis* container seedlings. *Annals of forest science*, 76: 1:22.
- Simpson D.G., Ritchie G.A., 1997. Does RGP predicts field performance? A debate. *New forest*, 13 : 249-273.
- Simpson R.F., Sefton M.A., 2008. Origin and fate of 2,4,6 trichloroanisole in cork bark and wine corks. *Australian journal of grape and wine research*, 13 (2) : 106-116.
- Sisman C.B., Delibas L., 2005. Storing sunflower seeds and quality losses during storage. *HELIA*, 28:115-132.
- Smith MT., Berjak P., 1995. Deteriorative changes associated with the loss of viability of stored desiccation tolerant and desiccation sensitive seeds, pp. 701-746. *In: Kigel, J. and G. Galili (Eds.). Seed Development and Germination*, New York.
- Snow G.E., 1991. Germination Characteristics of Engelmann Oak, and Coast Live Oak from the Santa Rosa Plateau, Riverside County, California. *USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. PSW-126*: 360- 365.

- Sobrino-Vesperinas E., Viviani. A.B., 2000. Pericarp micro morphology and dehydration characteristics of *Quercus suber* L. acorns. *Seed science research*, 10 : 401–407.
- Sondergaard P., 1991. Essai de semis du chêne liège (*Quercus suber* L.) dans la forêt de Bab Azhar, une subéraie de montagne au Maroc. *Annales de la recherche forestière au maroc*, 25 : 16- 29.
- Sowa S., Connor. K.F., 2003. Recalcitrant behaviour of cherrybark oak seed: an FT-IR study of desiccation sensitivity in *Quercus pagoda* Raf. acorns. *Seed science and technology*, 25: 110- 123.
- Stefansson E., 1978. Root quality of pine plantations established with seedlings grown in multiport. *In: Proceedings of the Root Form of Planted Trees Symposium*, Eds Van Eerden E. and Kinghorn J. M. British columbia ministry of forests/Canadian forestry service. Joint report 8, p. 114 -118.
- Stewart P., 1974. Cours de sylviculture : Introduction à la forêt et son milieu. Département du génie Rural. INA, 74 p.
- Stone E.C., Norberg E.A., 1978. Container-induced root malformation and its elimination prior to planting. *In: Proceedings of the Root Form of Planted Trees Symposium*, Eds Van Eerden E. and Kinghorn J. M. British Columbia ministry of forests/Canadian forestry service. Joint report 8, p. 65 -72.
- Suszka B., Tylkowski T., 1980. Storage of acorns of the English oak (*Quercus robur* L.) over 1-5 winters. *Arboretum Kornickie*, 25: 199-229.
- Suszka B., Tylkowski T., 1982. Storage of acorns of the northern red oak (*Quercus borealis* Michx. = *Q. rubra* L.) over 1-5 winters. *Arboretum Kornickie*, 26: 253-306.
- Suszka B., Muller C., Bonnet-Masimbert M., 1996. Seeds of forest broadleaves-from harvest to sowing. Institut national de la recherche agronomique (INRA- Paris). Éditions Quae, 294 p.
- Sutherland D.C., Day R.J., 1988. Container volume affects survival and growth of white spruce, black spruce and jack pine seedlings: a literature review. *Northern journal of applied forestry*, 5: 185-189.
- Sutton R.F., 1980. Root system morphogenesis. *New Zealand journal of forestry science*, 10 (1): 265-283.
- Tahraoui Douma N., 2013. Valorisation par compostage des résidus solides urbains de la commune de Chlef, Algérie. Thèse de doctorat. Université de Limoges, 224 p.
- Thompson B.E., 1985. Seedling morphological evaluation: What you can tell by looking. *In: Duryea, M. L. (eds.), Evaluating seedling quality: Principles, procedures, and predictive abilities of major tests*. Forest Research Laboratory, Oregon State University. Corvallis, 59-71.

- Thompson J.R., 1991. Influence of root system morphology and site characteristics on development of transplanted northern red oak (*Quercus rubra* L.) seedlings. PhD. Th. Iowa. St. Univ., 96 p.
- Tian N., Fang S., Yang W., Shang X., Fu X., 2017. Influence of container type and growth medium on seedling growth and root morphology of *Cyclocarya paliurus* during nursery culture. *Forests*, 8: 387.
- Tompsett P.B., 1984. Desiccation studies in relation to the storage of *Araucaria* seed. *Ann. Appl. Bio.* 105: 581-586.
- Tompsett P.B., Pritchard H.W., 1998. The effect of chilling and moisture status on the germination, desiccation tolerance and longevity of *Aesculus hippocastanum* L. seed. *Annals of botany*, 82: 249–261.
- 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: 491-497.
- Trubat R., Cortina J., Vilagrosa A., 2011. Nutrient deprivation improves field performance of woody species in a degraded semi-arid shrub-land. *Ecological engineering*, 37: 1164-1173.
- Tsakalimi M., Zagas T., Tsitoni T., Ganatsas P., 2005. Root morphology, stem growth and field performance of seedlings of two Mediterranean evergreen oak species raised in different container types. *Plant and soil*, 278: 85- 93.
- Tsakalimi M., Tsitoni T., Ganatsas P., Zagas T., 2009. A comparison of root architecture and shoot morphology between natural regenerated and container seedlings of *Quercus ilex* L. *Plant and soil*, 324:103- 113.
- Tsakalimi M., Ganatsas P., Jacobs D.F., 2012. Prediction of planted seedling survival of five mediterranean species based on initial seedling morphology. *New forests*, 44 : 327-339.
- Tsitoni T., Tsakalimi M., 2015. Studying shoot and root architecture and growth of *Quercus ithaburensis* subsp. *Macrolepis* seedlings; Key factors for successful restoration of Mediterranean ecosystems. *Ecologia mediterranea*, 41 (2): 25-32.
- Tylkowski T., 1977. Cold storage of *Quercus robur* L. acorns in an atmosphere of increased content of CO₂ and a reduced O₂ level. *Arboretum Kornickie*, 22: 275-283.
- Valdecantos A., Cortina J., Vallejo R., 2006. Nutrient status and field performance of tree seedlings planted in Mediterranean degraded areas. *Annals of forest science*, 63 (3): 249-256.
- Van Erden E., 1978. Roots of planted trees in central British Columbia. *In: Proceedings of the Root Form of Planted Trees Symposium*, Eds Van Eerden E. and Kinghorn J. M. British Columbia ministry of forests/Canadian forestry service. Joint report 8, p. 201- 208.
- Van Sambeek J.M., Godsey L.D., Walter W.D., Garrett H.E., Dwyer J.P., 2016. Field performance of *Quercus bicolor* established as repeatedly air-root-pruned container and bare root planting stock. *Open journal of forestry*, 6: 163-176.

- Vashisth A., Nagarajan S., 2009. Germination characteristics of seeds of maize (*Zea mays* L.) exposed to magnetic fields under accelerated ageing condition. *Journal of agricultural physics*, 9: 50-58.
- Verdonck O., 1983. Reviewing and evaluation of new materials used as substrates. *Acta horticultrae*, 150 : 467-473.
- Vignes E., 1988. Sylviculture du chêne liège : directives de l'office national des forêts dans le Var. *Forêt méditerranéenne*, X (1) : 164-165.
- Villar-Salvador P., Planelles R., Enriquez E., Penuelas-Rubira J., 2004. Nursery cultivation regimes, plant functional attributes and field performance relationships in the mediterranean oak *Quercus ilex* L. *Forest ecology and management*, 196: 257-266.
- Villar-Salvador P., Puertolas Simon J., Penuelas J.L., 2010. Assessing morphological and physiological plant quality for Mediterranean woodland restoration projects. Land restoration to combat desertification: Innovative approaches, quality control and project evaluation. Editor / Susana Bautista; James Aronson; V. Ramón Vallejo. Valencia: Fundación CEAM, pp. 103-120.
- Villers P., Navarro S., De Bruin T., 2010. New applications of hermetic storage for grain storage and transport. in: 446-452, Navarro, S., Riudavets, J. [Eds.] *Fumigation, Modified Atmospheres and Hermetic Storage*, Proceedings of the 10th international working conference on stored product protection, 27 June to 2 July 2010, Estoril, Portugal Julius-Kühn-Archiv, 425, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Berlin, 1077 p.
- Walters C., 1998. Understanding the mechanisms and kinetics of seed ageing. *Seed science research*, 8: 223-244.
- Wang X- F., Jing X.M., Zheng G. H., 2001. Effect of seed moisture content on seed storage longevity. *Acta botanica sinica*, 43 (6): 551- 557.
- Westoby M., Leishman M., Lord J., 1996. Comparative ecology of seed size and dispersal. *Philosophical transactions of the royale society B*, 351 :1309- 1318.
- Whitcomb C.E., 1984. Container design: problems and progress. *In: plant production in containers*. Lacebark publications, Stillwater, OK, p. 107-130.
- William M.C., 2002. Non-wood forest product from temperate broad-leaved trees. *Non-wood forest products*, 15, 137 p.
- Willoughby I.H., Jinks R.L., Morgan G.W., Pepper H., Budd J., Mayle B., 2011. The use of repellents to reduce predation of tree seed by wood mice (*Apodemus sylvaticus* L.) and grey squirrels (*Sciurus carolinensis* Gmelin). *European journal of forest research*, 130 (4): 601-611.
- Wilson S.B., Stofella P.J., Graetz D.A., 2001. Use of compost as media amendment for containerized production of two subtropical perennials. *Journal of environmental horticulture*, 19 (1): 37- 42.

Xia, K., Daws M.I., Hay F.R., Chen W.Y., Zhou Z.K., Pritchard H.W., 2012. A comparative study of desiccation responses of seeds of Asian Evergreen oaks, *Quercus* subgenus *Cyclobalanopsis* and *Quercus* subgenus *Quercus*. South african journal of botany, 78 : 47- 54.

Yessad S.A., 1999. Le chêne liège et le liège dans les pays de la méditerranée occidentale. Unité EFOR, UCL, Belgique, 190 p.

Younsi S., 2002. Contribution à l'étude de la régénération assistée de chêne liège (*Quercus suber* L.) : Régénération par semis direct et par transplantation. Mém. Ing. Univ. Constantine, 61 p.

Zair M., 1989. Influence des méthodes de plantation et d'élevage en pépinière sur la reprise des plants de chêne liège (*Quercus suber* L.). Mém. Ing. Agr. INA, 50 p.

Zeraia L., 1971. Le chêne liège et la récolte du liège. Centre algérien de recherche et d'expérimentation forestière (C.A.R.E.F). Rapport, 29 p.

Zeraia L., 1981. Essai d'interprétation comparative de données écologiques, phénologiques et de production subéro-ligneuse dans les forêts de chêne liège de Provence cristalline (France méridionale) et d'Algérie. Thèse de doctorat en sciences. Univ. Aix Marseille, 367 p.

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 produits en pépinière dans des conteneurs de différentes profondeurs. Forêt méditerranéenne, XXXVII (2): 137- 150.

Zucconi, F., Forte M., Monaco A., De Bertoldi M., 1981. Biological evaluation of compost maturity. Biocycle, 22 (2): 27-29