

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, de la Terre et de l'Univers
Département Des Ressources Forestières

THESE

Présentée pour l'obtention du grade de **Docteur en Sciences**

Spécialité : Foresterie

Par : KHOLKHAL Djamel

Thème

**Caractérisation, germination et conservation du
chêne-liège (*Quercus suber* L.) en Algérie**

Soutenue le 03 décembre 2022 devant le jury composé de :

Président : Mr DEHANE Belkheir

Prof. Université de Tlemcen

Directeur de Thèse : Mr BENMAHIOUL Benamar

Prof. Université de Tlemcen

Examineur : Mr DJABEUR Abderrazak

Prof. Université d'Oran

Examineur : Mr MILOUDI Ali

Prof. Université de Mascara

Examineur: Mr BENARADJ Abdelkrim

M.C.A. Centre Universitaire de Naama

Examinatrice : M^{me} BOUCHAOUR-DJABEUR Sabiha

M.C.A. Université de Tlemcen

Remerciements

Un travail scientifique, sérieux, ne saurait être l'œuvre d'une seule personne. Sur ce, Je tiens tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui m'a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail. Ainsi, je tiens à témoigner mes sentiments de profonde gratitude, à tous ceux qui, de quelque manière que ce soit, ont œuvré à l'aboutissement heureux de ce travail.

J'adresse mes remerciements particuliers à Mr BENMAHIOUL Benamar, Professeur, à l'Université de Tlemcen, mon directeur de thèse, pour ses conseils judicieux, son assistance permanente et les corrections minutieuses apportées au présent document. Je lui adresse une mention spéciale, pour la simplicité avec laquelle il m'a toujours reçu en tout temps.

Je voudrais également exprimer mes vifs remerciements aux membres du jury qui ont bien voulu juger ce travail : A Mr DEHANE Belkheir, Professeur, à l'Université de Tlemcen qui m'a fait un grand honneur d'accepter de présider ce jury. A Mr DJABEUR Abderrazak, Professeur, à l'Université d'Oran, à Mr MILOUDI Ali, Professeur, à l'Université de Mascara, à Mr BENARADJ Abdelkrim, Maitre de conférences A, au centre Universitaire de Naama et à M^{me} BOUCHAOUR-DJABEUR Sabiha, Maitre de conférences A, à l'Université de Tlemcen, pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant d'examiner ce travail.

Un grand merci à Mr ROULA BILAL, Chef de station de l'INRF, EL Aouana (Jijel), pour son aide, et de m'avoir facilité le travail grâce à la disponibilité du matériel végétal (glands) nécessaire durant mon travail expérimental.

Je désire en outre, remercier tout le personnel de la conservation des forêts de la wilaya de Tlemcen, pour m'avoir accueilli chaleureusement au sein de la pépinière de la conservation durant les trois années d'expérimentations.

Enfin, je remercie ma famille et surtout mes parents pour leurs soutiens et encouragements.

Dédicaces

Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut... Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, Le respect, la reconnaissance... Aussi, c'est tout simplement que je dédie cette Thèse.

A mon très Cher Père et ma très Chère Mère,

Autant de phrases et d'expressions aussi éloquentes soit-elle ne sauraient montrer le degré d'amour et d'affection et exprimer ma gratitude et ma reconnaissance. Vous qui avez attendu dans la patience et Le sacrifice les fruits de votre bonne éducation. De vous a germé et poussé une graine qui, grâce à vos soins, soutiens et bénédictions a pu grandir. Vous avez su m'inculquer le sens de la responsabilité, de l'optimisme et de la confiance en soi face aux difficultés de la vie. Vos conseils ont toujours guidé mes pas vers la réussite. Votre patience sans fin, votre compréhension et vos encouragements sont pour moi le soutien indispensable que vous avez toujours su m'apporter. Je vous dois ce que je suis aujourd'hui et ce que je serai demain et je ferai toujours de mon mieux pour rester votre fierté et ne jamais vous décevoir. Que Dieu le tout puissant vous préserve, vous accorde santé, bonheur, quiétude de l'esprit et vous protège de tout mal.

A ma petite famille. Ma femme et mes deux enfants Younes et Nor El Yakine Raghad. En témoignage de mon amour, de mon profond respect et de ma reconnaissance. Que Dieu vous protège et vous prête bonne santé et longue vie.

À mes frères et sœurs. En témoignage de mon respect et ma gratitude. Que Dieu vous protège et vous garde longtemps auprès de nous dans la Santé et le bonheur.

À la mémoire de mon Cher Ami. Mekki Abd Anaceur. Que Dieu lui accorde sa miséricorde.

Kholkhal Djamel



التوصيف، الإنبات والحفاظ على البلوط الفليني (*Quercus suber L.*) في الجزائر.

الملخص

إن نقص التجدد الطبيعي الذي لوحظ في جميع أنحاء البحر الأبيض المتوسط في منطقة توزيع بلوط الفلين قد تطلب اللجوء إلي الطريقة التقليدية في التشجير لكن استمرارية عمليات التشجير مرهونة بتوفر الشتلات و البذور على مستوى المشاتل بسبب عدم انتظام عملية إنتاج البذور لدى هذا النوع من الأشجار من جهة و عدم التحكم في شروط التخزين من جهة أخرى لأن مثل هذا النوع يفقد حيويته بسرعة في شروط التخزين العادية. إن الهدف من هذا العمل هو دراسة (i) الخصائص المورفولوجية لبذرة البلوط الفليني مما يجعل من الممكن تحديد شروط استخدامها بدقة وفقاً للأهداف المرغوبة (ii) تقييم تأثيرات الركائز المختلفة، النقية أو المختلطة، المستخدمة في مشاتل الغابات لإنتاج شتلة بالجودة المطلوبة (iii) اختبار تأثير مدة التخزين على صلاحية البذور وجودة الشتلات في المشتل ، (iv) تم إجراء دراسة حول تأثير إجهاد الملح على إنبات ونمو وتطور النباتات الصغيرة (v) و اختبار حساسية البذور المنتشرة لبعض مسببات الأمراض الجذرية من

جنس *Phytophthora* (*Phytophthora cinnamomi*, *Phytophthora multivora*, *Phytophthora quercina*) عن طريق عمر الجذر المتنامي في محلول الأبواغ الحيوانية . من أجل ذلك قمنا بقطف البذور المستخدمة في الاختبارات المختلفة من غابة بلوط الفلين في حفير (تلمسان) العوانة (جيجل). تظهر النتائج التي تم الحصول عليها أن البذور المختبرة تقدم تبايناً في مستوى القياسات الحيوية بين وداخل المصدرين. ليس لهذه الاختلافات أي تأثير على إنبات فئتي البذور (الحجم الصغير والكبير) ، بمعدل إنبات يتراوح بين 90 إلى 95% للمصدرين نيسوردما. بالنسبة لمعاملات النمو، لوحظ اختلاف حسب تباين الأحجام. فيما يتعلق بتأثير الركائز على النمو ، تم الحصول على أفضل النتائج باستخدام ركيزة عضوية لجميع المتغيرات المدروسة. بالإضافة إلى ذلك، لوحظ تأثير سلبي لمدة التخزين على تطور المحتوى المائي للبذور وقد انعكس انخفاض حيوية البذور خلال فترات التخزين المختلفة بشكل واضح على معاملات نمو الجزء العلوي و على قوة الشتلات. بالنسبة لتركيز الملح ، وجدنا أنه عند عتبة تركيز 5 جم / لتر من كلوريد الصوديوم ، تأثرت قدرة تباين روذبل وكذلك معاملات نمو الشتلات. و أخيراً، تلخصت حساسية الجذور المنتشرة لمسببات الأمراض *ميجولوبيوركيما* من نوع *Phytophthora* إلى انخفاض كبير في تطور الجذور مع ضمور على مستوى الجذور.

تهدف النتائج التي تم الحصول عليها في هذه تحورطلاً إلى تزويد لتاشملا و القائمين على الغابات بالمعلومات اللازمة عن الاستخدام السليم للبذور المقطوفة حديثاً والسماح بفهم أفضل لمتطلبات الحفاظ على البذور المتحصل عليها من مصادر مختلفة من أجل ضمان استمرار الإمداد بالبذور .

الكلمات المفتاحية : بلوط الفلين ، التجديد ، ومذ ، ووهظ ، الركيزة ، روذبل نيزخت ، مسببات الأمراض ، حفير (تلمسان) ، العوانة (جيجل).

Caractérisation, germination et conservation du chêne-liège (*Quercus suber* L.) en Algérie

Résumé

La déficience de la régénération naturelle constatée partout dans la méditerranée dans l'aire de répartition de chêne-liège, a nécessité le recours à la régénération assistée par plantation artificielle. Toutefois, la continuité des opérations de reboisement est compromise par la disponibilité de plants en pépinière et de glands en raison de l'irrégularité de la glandée connue pour l'espèce et à non maîtrise des conditions de conservation des semences récalcitrantes de cette espèce qui perdent rapidement leur viabilité sous les conditions ambiantes. L'objectif de ce travail est d'étudier : (i) les caractéristiques morphologiques des glands de *Quercus suber* L. qui permet de définir avec précision les conditions de leurs utilisations en fonction des objectifs souhaités, (ii) d'évaluer les effets des différents substrats purs ou en mélange utilisés en pépinières forestières pour produire un plant de qualité requise, (iii) de tester l'effet de la durée de conservation sur la viabilité de glands et la qualité de plants en pépinière, (iv) une étude a été entreprise sur l'effet du stress salin sur la germination, la croissance et le développement des jeunes plants, et (v) de tester la sensibilité des glands en germination à certains agents pathogènes des racines du genre *Phytophthora* (*Phytophthora cinnamomi*, *Phytophthora multivora*, *Phytophthora quercina*), par trempage de la racine pivotante en croissance dans une suspension de zoospores. Le matériel végétal utilisé pour réaliser les différents essais a été récolté à partir de la subéraie de Hafir (Tlemcen) et d'El Aouana (Jijel). Les résultats obtenus montrent que les glands testés présentent une variation sur le plan biométrique inter et intraprovenance. Ces variations n'ont aucun effet sur la germination des deux catégories de glands (petite et grande taille), avec un taux de germination qui varie entre 90 et 95% pour les deux provenances étudiées. Pour les paramètres de croissances, nous avons constaté une différence en fonction de la taille des glands. En ce qui concerne l'effet des substrats sur la croissance, les meilleurs résultats ont été obtenus avec le substrat terreau et ce pour l'ensemble des paramètres étudiés. Par ailleurs, une influence négative de la durée de stockage sur l'évolution de la teneur en eau des glands a été constatée. Ainsi la baisse de vigueur des glands durant les différentes périodes de conservation a visiblement répercuté sur les paramètres de croissance de la partie aérienne et sur la vigueur des plants. Pour le stress salin, nous avons constaté qu'à partir d'une concentration de 5 g/l de NaCl, le pouvoir germinatif des glands ainsi que les paramètres de croissance des plants ont été affectés. En fin, la sensibilité des glands en germination aux infections microbiologiques par les trois espèces du genre *Phytophthora*, se traduit par une réduction significative du développement de la racine pivotante avec une apparition des lésions nécrotiques.

Les résultats obtenus dans cette thèse visent à mettre à la disposition des pépiniéristes forestiers et les gestionnaires des informations nécessaires sur l'utilisation adéquate des glands fraîchement récoltés et permettre une meilleure perception des exigences de conservation des semences récoltées de différentes provenances en perspective d'assurer un approvisionnement continu de glands.

Mots clés : Chêne-liège, régénération, levée, croissance, substrat, conservation des glands, agents pathogènes, Hafir (Tlemcen), El Aouana (Jijel).

Characterisation, germination and conservation of cork oak (*Quercus suber* L.) in Algeria

Abstract

The deficiency of natural regeneration observed throughout the Mediterranean in the range of the cork oak has necessitated the use of assisted regeneration by artificial planting. However, the continuity of reforestation operations is compromised by the availability of nursery seedlings and acorns due to the known irregularity of acorn production for the species and the lack of control over the conservation conditions of the recalcitrant seeds of this species, which rapidly lose their viability under ambient conditions. The objective of this work is to study: (i) the morphological characteristics of the acorns of *Quercus suber* L. (ii) to evaluate the effects of different substrates, pure or mixed, used in forest nurseries to produce a plant of the required quality, (iii) to test the effect of storage time on the viability of acorns and the quality of nursery plants, (iv) a study was undertaken on the effect of salt stress on germination, growth and development of seedlings, and (v) to test the susceptibility of germinating acorns to certain root pathogens of the genus *Phytophthora* (*Phytophthora cinnamomi*, *Phytophthora multivora*, *Phytophthora quercina*), by dipping the growing taproot in a suspension of zoospores. The plant material used for the different trials was collected from the Hafir (Tlemcen) and El Aouana (Jijel) provenance. The results obtained show that the acorns tested have a biometric variation between and within sources. These variations have no effect on the germination of the two categories of acorns (small and large size), with a germination rate varying between 90 and 95% for both provenances studied. For the growth parameters, a difference was found depending on the size of the acorns. As regards, the effect of the substrates on growth, the best results were obtained with the potting soil substrate for all the parameters studied. In addition, a negative influence of the storage duration on the evolution of the water content of the acorns was observed and the decrease in the vigour of the acorns during the different storage periods visibly affected the growth parameters of the aerial part and the vigour of the plants. In the case of salt stress, we found that at a concentration 5 g/l of NaCl, the different germination capacity of the acorns as well as the growth parameters of the plants were affected. Finally, the susceptibility of germinating acorns to the microbiological infections by the three species of the *Phytophthora* genus was shown to be significantly reduced by the development of the taproot with the appearance of necrotic lesions.

The results obtained in this thesis are intended to provide forest nurseries and managers with the necessary information on the proper use of freshly harvested acorns and to allow a better perception of the conservation requirements of harvested seeds of different provenances in order to ensure a continuous supply of acorns.

Keywords: Cork oak, regeneration, raising, growth, substrate, storage of acorns, pathogens, Hafir (Tlemcen), El Aouana (Jijel).

TABLE DES MATIERES

Remerciements	I
Dédicaces	II
الملخص.....	VI
Résumé	VII
Abstract.....	VIII
Table des matières	IX
Liste des figures	VII
Liste des tableaux	VII
Liste des abréviations	VII

Introduction Générale	1
------------------------------------	----------

Chapitre I. Présentation générale du chêne-liège.

1. Origine et systématique	05
2. Aire de répartition du chêne-liège	06
2.1. Répartition dans la Méditerranée.....	06
2.2. Répartition en Algérie	07
3. Caractères botaniques	10
3.1. Appareil végétatif	10
3.1.1. Racines	10
3.1.2. Tronc	10
3.1.3. Rameaux.....	11
3.1.4. Bois	11
3.1.5. Ecorce.....	11
3.1.6. Feuilles	11
3.2. Appareil reproducteur	12
3.2.1. Fleurs.....	12
3.2.2. Fructifications	12
3.2.3. Fruit.....	12
4. Ecologie du chêne-liège.....	14
4.1. Altitude et exposition.....	14
4.2. Lumière et température	14
4.3. Pluviométrie et humidité.....	14
4.4. Sol.....	15
4.5. Etage de végétation.....	15
4.6. Associations du chêne-liège	15
5- Sylviculture et aménagement.....	16
5.1. Futaie régulière claire et basse	16
5.2. Futaie irrégulière.....	16
5.3. Tallis sous futaie	17
5.4. La levée de liège	17
5.4.1. Démasclage ou mise en valeur	17
5.4.2. Déliégeage.....	17

6. Régénération de chêne-liège	18
6.1. Régénération naturelle par semis.....	18
6.2. Régénération naturelle par rejet de souche	18
6.3. Régénération artificielle (semis directe et plantation)	18
7. Facteurs de dégradations de chêne-liège.....	18
7.1. Régénération naturelle déficiente	19
7.2. Action du climat	19
7.3. Modification de l'habitat.....	19
7.4. Surpâturage.....	20
7.5. Incendies	20
7.6. Insectes.....	21
7.6.1. Insectes ravageurs des racines	21
7.6.2. Insectes défoliateurs	21
7.6.3. Xylophage	21
7.6.4. Corticaux	22
7.6.5. Gallicoles.....	22
7.6.6. Insectes parasitant les fruits	22
7.6.7. Champignons phytopathogènes.....	22
8. Importance du chêne-liège et de la subéraie	23
8.1. Importance écologique.....	23
8.2. Importance sociale	23
8.3. Importance économique.....	24

Chapitre II. Etude des caractéristiques morphologiques des glands et des paramètres de croissance des semis de chêne-liège de deux provenances, du Nord-est (Jijel) et du Nord-ouest (Tlemcen) de l'Algérie.

1. Introduction	26
2. Matériel et Méthodes	27
2.1. Matériel végétal	27
2.2. Outils et matériels utilisés	29
3. Méthodes.....	29
3.1. Caractéristiques morphologiques	29
3.2. Estimation de la teneur en eau.....	30
3.3. Essais de germination des glands	31
3.4. Croissance des plantules	31
3.5. Traitement des données.....	31
4. Résultats.....	32
4.1. Caractéristiques morphométriques des glands	32
4.2. Mise en évidence des différences entre les provenances	33
4.2.1. Longueur des glands	33
4.2.2. Largeur des glands	34
4.2.3. Poids des glands.....	34
4.3. Taux de germination	35

4.4. Paramètres germinatifs.....	36
4.7.1. Temps de latence (TL)	36
4.4.2. Temps moyen de germination (T_{50}).....	36
4.4.3. Taux moyen de germination en temps moyen ($T_{50\%}$)	36
4.5. Croissance des plantules	37
4.5.1. Hauteur des tiges.....	37
4.5.2. Diamètre au collet, quotient H/D et nombre de feuille par plant	38
5. Discussion	39
6. Conclusion.....	41

Chapitre III. Effet des substrats sur la levée, la croissance et le développement des jeunes plants produits en pépinière.

1. Introduction	44
2. Matériel et méthodes.....	45
2.1. Matériel végétal	45
2.2. Substrats de culture.....	46
2.3. Conteneurs.....	46
3. Méthodes.....	47
3.1. Conditions de l'expérience.....	47
3.2. Variables mesurées	48
3.3. Analyse des données.....	48
4. Résultats.....	48
4.1. Taux de levée moyen	48
4.2. Taux de mortalité des jeunes plants.....	50
4.3. Croissance en hauteur des tiges.....	51
4.4. Croissance du diamètre au collet	54
4.5. Rapport hauteur de tige/diamètre au collet (H/D)	54
4.6. Nombre moyen de feuille par plant	55
4.7. Longueur et largeur des feuilles	55
4.8. Surface foliaire	56
5. Discussion	57
5.1. Taux de levée.....	57
5.2. Taux de mortalité des jeunes plants.....	58
5.3. Croissance rythmique des jeunes semis	58
5.4. Croissance en hauteur et en diamètre au collet	59
5.5. Rapport hauteur de la tige /diamètre au collet (cm/mm)	61
5.6. Nombre de feuilles par plant.	61
5.7. Longueur et largeur des feuilles	62
6. Conclusion.....	62

Chapitre IV. Effet de la durée de conservation des glands sur l'évolution de la teneur en eau, la germination, la levée et la croissance des plantules de *Quercus suber* L.

1. Introduction	65
2. Matériel et méthodes.....	67
2.1. Matériel Végétal	67
3. Méthode	68
3.1. Détermination de la teneur en eau des glands	68
3.2. Croissance et développement des semis	68
3.3. Mesures et observations	69
3.4. Analyse des données.....	69
3. Résultats.....	69
4.1. Effet de la durée de conservation sur l'évolution de la teneur en eau des glands	69
4.2. Effet de la durée de conservation sur le taux de levé des plants	70
4.3. Effet de la durée de conservation sur la hauteur des plants	71
4.4. Effet de la durée de conservation sur le diamètre au collet, le quotient de robustesse H/D et la surface foliaire	71
5. Discussion	72
6. Conclusion.....	74

Chapitre V. Effet du stress salin sur la germination des glands et la croissance des jeunes semis de chêne-liège.

1. Introduction	76
2. Matériel et méthode	78
2.1. Echantillonnage et manipulation des glands	78
2.2. Mesure de la teneur en eau des glands.....	78
2.3. Préparation de différentes concentrations salines.....	79
2.4. Effet du sel sur la germination des glands	79
2.5. Effet du sel sur la croissance et le développement de la radicule au laboratoire	79
2.6. Effet du sel sur la croissance racinaire des semis en pépinière	80
2.7. Analyse statistique	81
3. Résultats.....	81
3.1. Teneur en eau des glands	81
3.2. Effet de la salinité sur le taux de germination des glands	81
3.3. Effet de la salinité sur les paramètres germinatifs des glands.....	82
3.4. Effet du stress salin sur la taille des jeunes semis	83
3.5. Effet du stress salin sur la croissance en diamètre des jeunes semis	84
3.6. Effet du stress salin sur l'élongation de la racine pivotante	85
3.7. Effet du stress salin sur la longueur de la zone de ramification racinaire.....	89
3.8. Effet du stress salin sur la croissance racinaire des plants cultivés en pépinière	89
3.9. Effet du stress salin sur le nombre de feuille par plant	90
4. Discussion	92

5. Conclusion.....	94
--------------------	----

Chapitre VI. Influence des agents pathogènes du genre *Phytophthora*, sur la croissance et le développement des racines de jeunes germinations.

1. Introduction.....	97
2. Matériel et méthodes.....	101
2.1. Matériel Végétal.....	101
3. Méthode expérimentales.....	101
3.1. Milieux de culture.....	101
3.2. Méthode d'isolement de <i>Phytophthora</i>	101
3.3. Identification des isolats de <i>Phytophthora</i>	103
3.4. Inoculation <i>in vitro</i> des glands en cours de germination.....	104
4. Résultats.....	106
4.1. Teneur en eau et taux de germination des glands.....	106
4.2. Inoculation <i>in vitro</i> des glands en germination.....	106
5. Discussion.....	108
6. Conclusion.....	109

Conclusion générale et perspectives..... 112

1. Conclusion générale.....	112
2. Perspectives.....	115

Références bibliographiques..... 117

Liste des Figures	Pages
Figure 1. Aire de distribution du chêne-liège (Quézel et Médail, 2003)	07
Figure 2. Carte de distribution des forêts de chêne-liège en Algérie (Abbas, 2003)	08
Figure 3. Superficies estimées des forêts de chêne-liège par pays.....	10
Figure 4. Différentes parties de l'arbre de chêne-liège : (A) récolte de liège sur le tronc ; (B) châtons mâles ; (C) fruit (gland) ; (D) rameau subéreux ; (E, F) liège	13
Figure 5. Situation géographique de la zone de provenance des glands de chêne-liège El Aouana (Jijel)	28
Figure 6. Cadre géographique du massif subéricole Hafir-Zarifet (Letreuch, 2002).....	28
Figure 7. Biométrie des glands	30
Figure 8. Numérotation et répartition des glands en cinq groupes de 20 glands	30
Figure 9. Taux de germination en fonction de la taille des glands de deux provenances de chêne-liège (El Aouana-Jijel et Hafir-Tlemcen). <i>GGT</i> : glands de grande taille, <i>GPT</i> : glands de petite taille	35
Figure 10. Hauteur moyenne des plants de chêne-liège, en fonction de la provenance des glands et leur taille (<i>GGT</i> : glands de grandes tailles ; <i>GPT</i> : glands de petites tailles).....	37
Figure 11. Aspect morphologique des plants de chêne-liège provenant d'El Aouana-Jijel après 6 mois d'élevage en pépinière. Notez la bonne croissance en hauteur des plants issus de glands de grande taille (A) comparativement à ceux provenant de glands de petite taille (B). (Hauteur des caisses 21 cm donne l'échelle des plants).....	38
Figure 12. Conteneur WM de Riedacker	47
Figure 13. Cinétique de la levée des plants de chêne-liège par substrat et par provenance. ...	49
Figure 14. Levée des plants de chêne-liège sur les différents substrats testés : (S1) sable ; (S2) terre végétale ; (S3) terreau ; (S4) 1/2 sable + 1/2 terre végétale ; (S5) 1/3 sable + 1/3 terre végétale + 1/3 terreau.....	50
Figure 15. Hauteur moyenne des plants de chêne-liège par substrat et par provenance.	51
Figure 16. Plants de chêne-liège élevés en pépinière sur les différents substrats testés : (1) sable ; (2) terre végétale ; (3) terreau ; (4) 1/2 sable + 1/2 terre végétale ; (5) 1/3 sable + 1/3 terre végétale + 1/3 terreau (A) Hafir-Tlemcen ; (B) El Aouana-Jijel	52
Figure 17. Effet de différents substrats de culture sur l'évolution de la croissance en hauteur des plants de chêne-liège provenant de Hafir et d'El Aouana.	53

Figure 18. Effet du substrat et de la provenance des glands sur la croissance du diamètre au collet des plants de chêne-liège après 68 semaines de culture.....	54
Figure 19. Accroissements moyens en longueur et en largeur des feuilles des jeunes plants de Chêne liège provenant de Hafir (Tlemcen) et d'El Aouana (Jijel) après 68 semaines de culture sur différents substrats (S1 : sable ; S2 : terre végétale ; S3 : terreau ; S4 : sable/terre végétale ; S5 : Sable/terre végétale/terreau)	56
Figure 20. Variation de la surface foliaire des jeunes plants de chêne-liège en fonction du substrat et de la provenance.	57
Figure 21. Evolution de la teneur en eau des glands de chêne-liège en fonction de la durée de conservation.....	69
Figure 22. Taux moyens de levée des plants de chêne-liège calculés après 45 jours du semis	69
Figure 23. Hauteur cumulée des plants de chêne-liège après 24 semaines de culture	71
Figure 24. Glands de chêne-liège en germination plongés dans des solutions salines de différentes concentrations en NaCl	80
Figure 25. Effet de la concentration saline (NaCl) sur le taux de germination des glands de chêne-liège issus de deux provenances (El Aouana – Jijel et Hafir – Tlemcen).	82
Figure 26. Effet de la concentration saline en NaCl sur la taille moyenne des plants de chêne-liège provenant d'El Aouana – Jijel et Hafir – Tlemcen.	84
Figure 27. Effet de la concentration saline en NaCl sur le diamètre moyen au collet des plants de chêne-liège provenant d'El Aouana – Jijel et Hafir – Tlemcen.	84
Figure 28. Effet de la concentration saline en NaCl sur l'élongation de la racine pivotante des plants de chêne-liège provenant d'El Aouana – Jijel et Hafir – Tlemcen.	85
Figure 29. Glands de chêne-liège en germination plongés dans des solutions salines appartenant aux différentes concentrations de NaCl : (A) 0 g/l ; (B) 2,5 g/l ; (C) 5 g/l ; (D) 10 g/l ; (E) 15 g/l.	86
Figure 30. Glands de chêne-liège en germination soumis à différentes concentrations de NaCl : (A) 0 g/l ; (B) 2,5 g/l ; (C) 5 g/l ; (D) 10 g/l ; (E) 15 g/l. Les flèches blanches indiquent les lésions nécrotiques développées sur les racines pivotantes, tandis que les flèches rouges montrent les pousses aériennes et les flèches jaunes indiquent la ramification racinaire. Provenance, El Aouana-Jijel.	87
Figure 31. Glands de chêne-liège en germination soumis à différentes concentrations de NaCl : (A) 0 g/l ; (B) 2,5 g/l ; (C) 5 g/l ; (D) 10 g/l ; (E) 15 g/l. Les flèches blanches indiquent les lésions nécrotiques développées sur les racines pivotantes, tandis que les flèches rouges	

montrent les pousses aériennes et les flèches jaunes indiquent la ramification racinaire. Provenance, Hafir-Tlemcen.	88
Figure 32. Effet de la concentration saline en NaCl sur la longueur moyenne de la zone de ramification racinaire des plants de chêne-liège provenant d'El Aouana – Jijel et Hafir – Tlemcen.	89
Figure 33. Effet de la concentration saline en NaCl sur la croissance racinaire des semis de chêne-liège provenant d'El Aouana – Jijel et Hafir – Tlemcen	90
Figure 34. Effet de la concentration saline en NaCl sur le nombre moyen de feuilles par plants de chêne-liège provenant d'El Aouana – Jijel et Hafir – Tlemcen.....	90
Figure 35. Variation de la croissance des plants de chêne-liège sous l'effet des différentes concentrations salines : (A) 0 g/l ; (B) 2,5 g/l ; (C) 5 g/l ; (D) 10 g/l ; (E) 15 g/l. Provenance, El Aouana (Jijel).....	91
Figure 36. Variation de la croissance des plants de chêne-liège sous l'effet des différentes concentrations salines : (A) 0 g/l ; (B) 2,5 g/l ; (C) 5 g/l ; (D) 10 g/l ; (E) 15 g/l. Provenance, Hafir (Tlemcen).....	91
Figure 37. Nombre cumulé de déclins et de dépérissements importants de <i>Phytophthora</i> des forêts et des écosystèmes naturels au fil du temps (Jung et al. 2018).....	100
Figure 38. Isolement des espèces de <i>Phytophthora</i> : (A) méthode d'appâtage d'échantillons de sol et de racines à l'aide de feuilles fraîches de <i>Quercus suber</i> ; (B) feuilles de chêne-liège infectées (Brandano, 2017).	102
Figure 39. Production de sporanges chez les trois champignons phytopathogènes testés de <i>Phytophthora</i>	104
Figure 40. Glands de chêne-liège en germination exposés à une suspension de zoospores	106
Figure 41. Longueur moyenne des racines pivotantes de jeunes germinations de Chêne-liège traitées par des suspensions de zoospores de trois souches de <i>Phytophthora</i> . Les différences significatives à $P < 0,05$ sont indiquées par des lettres différentes.	107
Figure 42. Glands de chêne-liège en germination après 10 jours de trempage dans une suspension de zoospores d'isolats de <i>Phytophthora</i> appartenant à trois espèces différentes et dans de l'eau stérile (Témoin). Les flèches blanches indiquent les lésions nécrotiques développées sur les racines pivotantes, tandis que les flèches rouges montrent les pousses aériennes et les flèches jaunes montrent la ramification racinaire. A : Hafir-Tlemcen ; B : El Aouana-Jijel.	108

Liste des Tableaux

Pages

Tableau 1. Estimations de la superficie occupée par le chêne-liège dans la région méditerranéenne (en hectares).....	09
Tableau 2. Estimations de la production du liège dans la région méditerranéenne (en tonnes)	09
Tableau 3. Caractéristiques biométriques des glands de chêne-liège provenant d'El Aouana – Jijel et Hafir -Tlemcen	33
Tableau 4. Répartition des glands par classe de longueur chez les deux provenances étudiées (El Aouana-Jijel et Hafir-Tlemcen).....	33
Tableau 5. Répartition des glands par classe de largeur chez les deux provenances étudiées (El Aouana-Jijel et Hafir-Tlemcen).....	34
Tableau 6. Répartition des glands par classe de poids chez les deux provenances étudiées (El Aouana-Jijel et Hafir-Tlemcen).. ..	35
Tableau 7. Paramètres germinatifs des glands de chêne-liège par provenance et par taille. (<i>GGT : glands de grande taille ; GPT : glands de petite taille</i>).	37
Tableau 8. Diamètre au collet, rapport H/D et nombre de feuilles par plant de chêne-liège, en fonction de la provenance des glands et leur taille (<i>GGT : glands de grande taille ; GPT : glands de petite taille</i>).	39
Tableau 9. Effets des substrats sur les variables étudiées	49
Tableau 10. Effet de la durée de conservation des glands sur le diamètre au collet, l'H/D, l'indice de vigueur et la surface foliaire des plants de chêne-liège.....	72
Tableau 11. Effet de la concentration saline en NaCl sur les paramètres germinatifs des glands de chêne-liège provenant d'El Aouana – Jijel et Hafir – Tlemcen.....	83
Tableau 12. Teneur en eau (TE) et taux de germination (TG) des glands de chêne-liège (<i>TE : n = 15 glands x 3 répétitions ; TG : n = 25 glands x 3 répétitions</i>)	106

Liste des abréviations

% : Pourcentage

°C : Degré Celsius

AFO: Agriculture and Food Organisation

Aj: El Aouana (Jijel)

ANOVA : Analysis of variance

APCOR : L'Associação Portuguesa da Cortiça est l'Association portugaise du liège

ASM : Agar synthétique pour Mucor

CaCO₃ : Carbonate de calcium

C0 : Concentration saline 0 g/l

C1 : Concentration saline 2,5 g/l

C2 : Concentration saline 5 g/l

C3 : Concentration saline 10 g/l

C4 : Concentration saline 15 g/l

Cm : Centimètre

D.G.F. : Direction générale des forêts

E : Est

g/l : Gramme par litre

g: Gramme

GGT : Glands de grandes tailles

GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

GJC : Gélose au jus de carotte

GPT : Glands de petites tailles

HCl : Chlorure d'hydrogène

H/D : Hauteur sur diamètre au collet

ha: Hectare

ISTA: International Rules for Seed Testing

m : Mètre

meq : milliéquivalent

ml : millilitre

mm : Millimètre

N: Nord

NaCl : Chlorure de Sodium

NaOH : Hydroxyde de sodium

NGG : Nombre de Glands Germés

NTGS : Nombre Total de Glands mis à germer

Oxoid Ltd : Oxoid Limited

PF : Poids frais

PFNL : Produits Forestiers Non Ligneux

PS: Poids sec

S: Sud

S1; S2 ; S3 ; S4 ; S5: Substrats

S1 : Sable

S2 : Terre végétale

S3 : Terreau

S4 : Mélange, sable + terre végétale (1/2, 1/2)

S5 : Mélange, sable + terre végétale + terreau (1/3, 1/3, 1/3)

p/v : poids par volume

T : Temps (jour)

TE : Teneur en eau

TG : Taux de germination

TL : Temps de latence

W : Ouest

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

Dans la région méditerranéenne, les forêts couvrent environ 81 millions d'hectares (9,4 % de la superficie forestière mondiale) et composées d'une mosaïque d'essences forestières, principalement des feuillus environ 60% (Mugnossa et al. 2000). Elles constituent des écosystèmes naturels fragiles et profondément perturbés, qui ont toujours été utilisés par l'homme à des fins de survie, soit directement pour la recherche du bois d'œuvre et du combustible, soit surtout indirectement en particulier comme terrain de parcours pour les troupeaux et les diverses cultures qui peuvent être établies en sous-bois (Quezel et Barbero, 1990).

La région méditerranéenne se caractérise également par sa très longue association avec l'homme près de 6000 ans, qui a marqué de son empreinte une grande partie du paysage, en modifiant et en façonnant le milieu, de façon positive (construction de terrasses, épierrage, plantations et reboisement) ou négative (incendies, surpâturage, surexploitation, ...ouvrant la voie à l'érosion et à l'appauvrissement du sol) (Ripert et Vennetier, 2002). Donc, l'histoire de la forêt méditerranéenne est actuellement assez bien connue par l'extension potentielle des essences majeures et les surfaces qu'elles occupent en fonction des critères écologiques et biogéographiques en dehors de toute intervention humaine (Reille et al, 1980 ; Quezel et Barbero, 1990).

Le chêne-liège (*Quercus suber* L.) est une essence forestière endémique du domaine méditerranéo-atlantique du bassin méditerranéen où il est présent dans plusieurs régions du Sud de l'Europe (Portugal, Espagne, Italie et France) et du Nord de l'Afrique (Algérie, Maroc et Tunisie). L'importance des subéraies ne se limite pas uniquement à la production de liège, mais elles jouent de nombreuses fonctions : économique, écologique, sociale et environnementale. En effet, les fruits et le feuillage qui nourrissent le bétail, et le bois issu de la taille, qui est utilisé pour la production du bois de chauffage ou du charbon, sont une ressource fondamentale pour certaines communautés rurales (Sousa et Kadiri, 2005).

Situées entre les frontières marocaines et tunisiennes et s'étendent du littoral méditerranéen au Nord jusqu'aux chaînes telliennes au Sud, les forêts Algériennes de chêne-liège, occupait une superficie initiale de 440 000 à 480 000 ha, selon Boudy (1952) ; Natividade (1956) ; Seigue (1985) ; Richard (1987) ; Yessad (2000) ; Quezel et Medail (2003). Actuellement, les données récentes annoncent une superficie subéricole de 357 000 ha, dont 242 098 ha de vieille futaie et 229000 ha comme subéraie productive (Mostefa, 1992 ; Abbes, 2006 ; D.G.F., 2008 ;

Bouhraoua, 2014). Cette superficie fournit une production de liège relativement faible ces dernières années d'ordre de 15000 tonne/an, soit 5,2% du stock annuel mondial du liège estimé à 300 000 tonnes (Pereira et al. 2008).

Cependant, ce patrimoine subéricole national subit, à l'instar des autres formations forestières, une dégradation continue qui est due à plusieurs facteurs biotiques, abiotiques et anthropiques, et qui affectent négativement leur dynamisme, leur production et leur régénération naturelle (Alili, 1983 ; Messaoudene, 1998 ; Benabid, 2000 ; Yessad 2000 ; Letreuch, 2009).

Face à cette situation, la réussite de la régénération du chêne-liège reste une des préoccupations majeures des forestiers sur le terrain à cause d'une déficience de la régénération naturelle due principalement aux conditions climatiques et édaphiques de la station mais aussi à l'état phytosanitaire des glands et leur faculté germinative. Pour surmonter cette difficulté, et dans le but de régénérer les subéraies dégradées et aussi pour rajeunir les vieux peuplements, le recours à la régénération par plantations artificielles s'impose. La réussite d'une telle opération nécessite, entre autres, un choix judicieux du matériel végétal et le passage par une pépinière pour la production de plants de qualités requises. Toutefois, cette opération dépend à la disponibilité de glands en raison de l'irrégularité de la glandée connue pour l'espèce.

La conservation constitue le seul moyen pour pallier à l'irrégularité des glandées et assurer un approvisionnement continu en glands (Bastien, 1992). En revanche, le caractère récalcitrant des glands du genre *Quercus*, pose un problème lors du stockage à cause de la teneur en eau élevée des glands (Wang, 1974 ; Bonner, 1984) qui se traduit par une germination précoce et l'installation des champignons phytopathogènes.

La présente étude a pour objectif de recueillir des informations détaillées sur le comportement physiologique après maturité des semences (glands) de type récalcitrantes, de renforcer les connaissances existantes sur la production de plants de chêne-liège, et enfin, de mettre à la disposition des pépiniéristes forestiers et les gestionnaires un outil précieux sur l'utilisation adéquate du matériel végétal fraîchement récolté et permettre une meilleure perception des exigences de conservation des glands de différentes provenances en perspective d'assurer un approvisionnement continu en semences.

Cette thèse est structurée en six principaux chapitres :

- Le premier chapitre consiste à donner une synthèse descriptive générale du chêne-liège. Nous avons présenté de façon détaillée sa position systématique, son aire de répartition en Algérie et dans le monde, ses caractéristiques botaniques et écologiques, ses modes de régénération, les principaux facteurs de sa dégradation ainsi que ses intérêts écologiques, sociaux et économiques.
- Le second chapitre est consacré à la caractérisation morphologique des glands de chêne-liège, issus du Nord-est (Jijel) et du Nord-ouest (Tlemcen) de l'Algérie. Dans ce chapitre, nous avons testé l'effet de la variabilité des caractères morphologiques sur la germination des glands, la croissance et le développement des jeunes plants.
- Dans le but de choisir le meilleur substrat pour la production de plants de qualité requise, le troisième chapitre traite l'effet de différents substrats (purs ou en mélanges) les plus utilisés en pépinières forestières, sur la levée et le comportement des jeunes semis.
- L'étude de l'effet de la durée de conservation des glands sur l'évolution de leur teneur en eau, la germination, la levée et la croissance des plantules a fait l'objet du quatrième chapitre.
- L'avant dernier chapitre, traite l'effet du stress salin sur la germination des glands et la croissance des jeunes plants.
- En fin, le dernier chapitre, avait pour but de tester la sensibilité des glands en germination à certains agents pathogènes des racines du genre *Phytophthora* (*Phytophthora cinnamomi*, *Phytophthora multivora*, *Phytophthora quercina*), par trempage de la racine pivotante en croissance dans une suspension de zoospores.

Espérant que cette thèse suscitera suffisamment d'intérêt pour inciter le lecteur à explorer d'avantage l'importance de la régénération des subéraies Algériennes, en passant par les différentes étapes de production de plants de chêne-liège en pépinières, et de participer de plus en plus activement à la conservation de cette espèce menacée.

CHAPITRE I. PRESENTATION GENERALE DU CHENE-LIEGE

1. Origine et systématique

Les forêts de chêne-liège sont un écosystème de type méditerranéen qui a évolué à travers des changements géologiques et climatiques majeurs qui ont eu lieu pendant la période du Pléistocène (Pereira et Pires da Fonseca, 2003). Pendant la dernière période glaciaire (il y a 18 000 ans, période Würm), l'espèce a survécu dans les zones méridionales et côtières de la péninsule ibérique et de l'Afrique du Nord (Carrión et al. 2000). Après cette période glaciaire (il y a 10 000 ans, Holocène), le chêne-liège s'est répandu à partir de ces refuges qui ont fonctionné comme des noyaux de recolonisation, et il y a eu une augmentation de la superficie de cette essence et d'autres forêts à feuilles persistantes (Capelo et Catry, 2007 ; Acácio, 2009).

Quercus suber L. est un arbre de la famille des fagacées et du genre *Quercus* qui représente le genre le plus important de cette famille et il comprend de 200 à 500 espèces dont 6 existent en Afrique du Nord (El Antry Tazy et al. 2008). L'arbre a été décrit pour la première fois par Linné en 1753 (Natividade, 1956). Il appartient au :

- **Domaine** : Biota
- **Règne** : Plantae
- **Sous-règne** : Viridiplantae
- **Infra-Règne** : Streptophyta
- **Embranchement** : Spermatophyta
- **Division** : Magnoliophyta
- **Classe** : Magnoliopsida
- **Sous-classe** : Hamamelidae
- **Ordre** : Fagales
- **Familles** : Fagaceae
- **Sous-famille** : Quercoideae
- **Genre** : *Quercus*
- **Espèce** : *Quercus suber* L.

Les Noms vernaculaires :

- Chêne-liège en Français
- Cork Oak en Anglais
- بلوط الفلين en Arabe

En Algérie, cet arbre est connu sous différents noms vernaculaires, selon les différentes régions subéricole du pays (Benseghir, 2002) :

- Ballout El Feline : Cette dénomination est probablement d'origine grecque *phellodrur* : *phellos/liège* ;

- Akhnache (liège) dans la région de petite Kabylie ;
- Aqchour dans la région de grande Kabylie ;
- Fernane à l'est et l'ouest du pays.

2. Aire de répartition du chêne-liège

2.1. Répartition dans la méditerranée

Les Fagacées sont distribuées dans la majeure partie de l'hémisphère nord et dominent la flore actuelle. Les différentes espèces sont distribuées dans toutes les régions tempérées, dans les régions tropicales montagneuses de l'Asie du Sud, de l'Amérique Centrale et du Sud et les régions méditerranéennes de l'Afrique et de l'Europe (Hubert, 2013). Le chêne-liège est actuellement une espèce typique de la région méditerranéenne occidentale, s'étant développé de façon spontanée au Portugal et en Espagne, mais aussi dans le nord de l'Algérie, au Maroc et en Tunisie. Il occupe également des zones plus restreintes dans le sud de la France et sur la côte occidentale de l'Italie, y compris la Sicile, la Corse et la Sardaigne (figure 1). Il couvre actuellement une surface totale d'environ 2277700 hectares, dont 1,43 million d'hectares en Europe et 0,85 million d'hectares, dans le nord de l'Afrique (Pereira et al. 2008). Selon les mêmes auteurs, plus de la moitié de cette surface se trouve dans la péninsule Ibérique.

Des essais d'acclimatation sur une vaste échelle entrepris au dehors du bassin occidental de la méditerranée (Etats-Unis, Caucase) ont échoué jusqu'à ce jour. Selon Dehane (2012) de très bons résultats d'acclimatation de chêne-liège mais sans production de liège furent obtenus en Bulgarie (Petrov et Genov, 2004), New Zeland (Macarthur, 1994), Sud de l'Australie, Chine, Russie, Californie et Japon (Aronson et al. 2009).

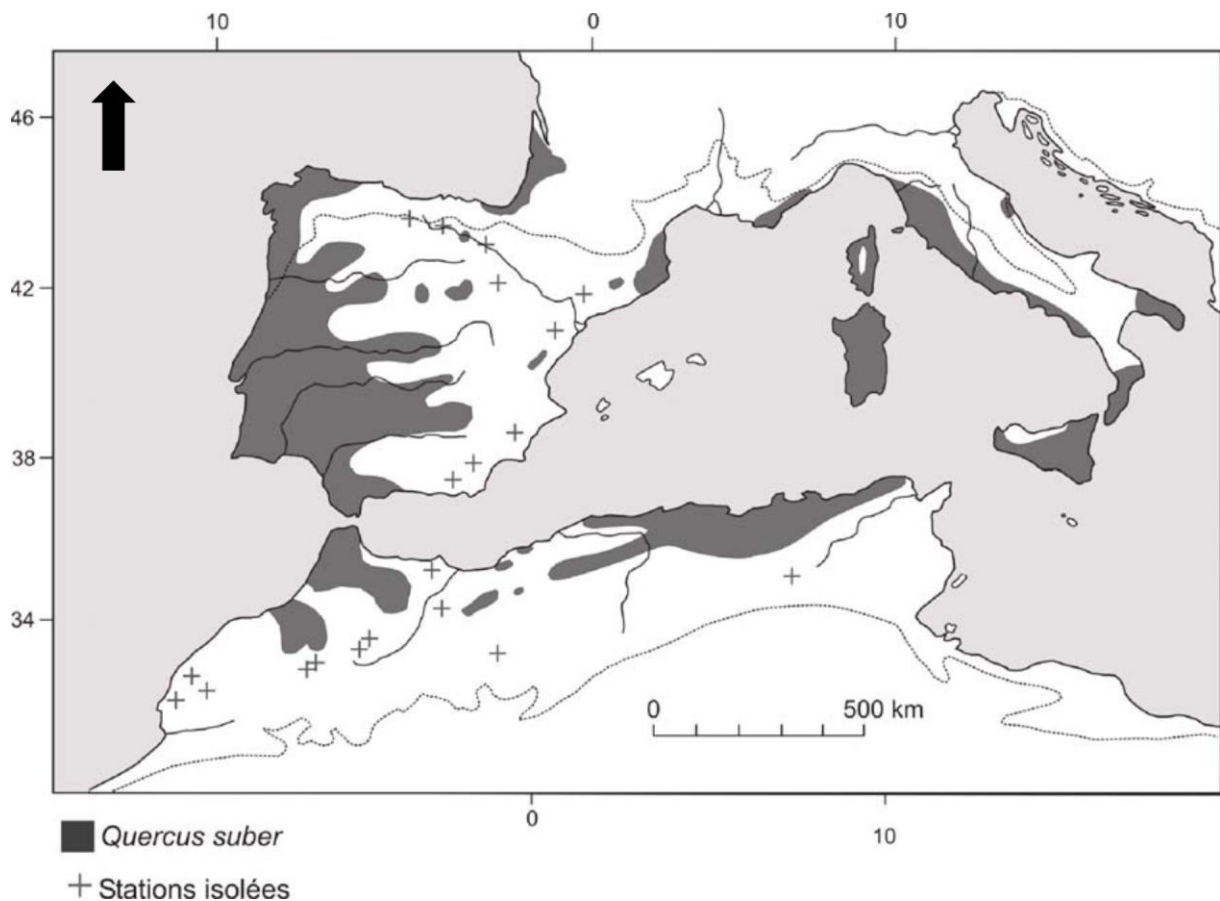


Figure 1. Aire de distribution du chêne-liège (Quézel et Médail, 2003)

2.2. Répartition en Algérie

Les peuplements de chêne-liège en Algérie comprennent entre les frontières marocaines et tunisiennes où ils montrent une dispersion géographique inégalement réparties à travers les différentes wilayas, s'étendent du littoral méditerranéen au nord et aux chaînes telliennes au sud, sur une largeur ne dépassant pas les 100 km (figure 2). Ces peuplements sont plus présentés à l'est du pays, constituant les zones les plus importantes de production de liège et reste disséminé sous forme d'îlots de moindre importance dans la partie Ouest (Zeraïa, 1982 ; Bouhraoua, 2003). Selon Messaoudene (2000), la distribution des peuplements entre les principales régions est comme suit :

- Est : 392 000 ha (89%) (Massifs de Collo, Skikda, Jijel, Annaba, Guelma et Souk-Ahras) ;
- Centre : 41 000 ha (9%) (Ain Defla, Tissemsilt, Chlef, Médéa, Tipaza) ;
- Ouest : 7 000 ha (2%) (Relizane, Mascara, Tiaret, Oran et Tlemcen) ;

Le premier inventaire forestier national de 1983/1984 déclare que les véritables subéraies productives n'occupent qu'une superficie de 230 000 hectares (Zine, 1992). Une autre

estimation fournie par DGF (2007) d'claire que le patrimoine sub'ricole productif ne d'passe pas les 220 000 hectares, ce qui repr'sente une perte de pr's de moiti' de la surface. Cette superficie fournit 5,2% du stock annuel mondial du li'ge estim' ' 300 000 tonnes (Pereira et al. 2008) (tableau 2). La faible production de li'ge au cours de ces derni'res ann'es est due essentiellement ' la r'gression de la surface sub'ricole (Dehane et al. 2013).

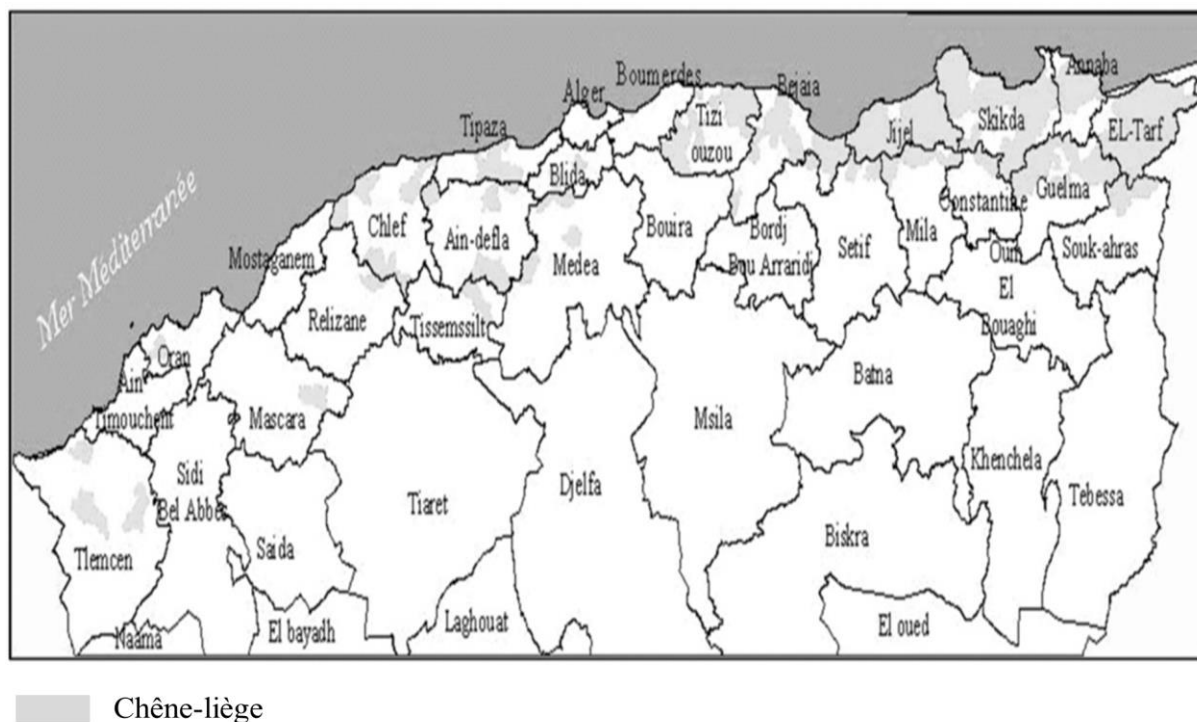


Figure 2. Carte de distribution des for'ets de ch'ne-li'ge en Alg'rie (Abbas, 2013)

En termes de superficie la sub'raie Alg'rienne est class'ee au 3^{eme} rang mondial apr's le Portugal et l'Espagne (tableau 1, figure 3).

Tableau 1. Estimations de la superficie occupée par le chêne-liège dans la région méditerranéenne (en hectares)

<i>Années</i>		1931	1937	1958	1977	1989	2008
<i>Superficie d'occupation (ha)</i>	<i>Portugal</i>	555555	600000	700000	676000	650000	736700
	<i>Espagne</i>	540000	340000	530000	500000	500000	506000
	<i>Algérie</i>	440000	440000	475000	480000	480000	414000
	<i>Maroc</i>	300000	300000	375000	400000	350000	345000
	<i>Tunisie</i>	134000	140000	145000	99000	100000	92000
	<i>Italie</i>	75000	75000	104000	100000	100000	92000
	<i>France</i>	159000	150000	127000	100000	100000	92000
	<i>Total</i>	2207555	2045000	2456000	2355000	2280000	2277700
<i>Sources</i>		(Mendes de Almeida, 1931)	(Saccardy, 1937)	(FAO, 1958)	(Ceduli, 1977 in Salazar sampaio, 1988)	(Benabid, 1989)	(Pereira et al, 2008)

Tableau 2. Estimations de la production du liège dans la région méditerranéenne (en tonnes)

<i>Années</i>		1931	1937	1958	1977	1989	2008
<i>Production du liège (tonnes)</i>	<i>Portugal</i>	100000	125000	173000	192000	162000	157000
	<i>Espagne</i>	45000	32000	74000	90000	85000	88400
	<i>Algérie</i>	36000	35000	45000	20000	20000	15000
	<i>Maroc</i>	-	2500	34000	23000	12000	11000
	<i>Tunisie</i>	2000	5000	6500	8000	9000	7500
	<i>Italie</i>	7000	7000	15000	26000	27000	17000
	<i>France</i>	13500	13500	15000	13000	10000	3400
	<i>Total</i>	203500	220000	362500	372000	325000	299300
<i>Sources</i>		(Mendes de Almeida, 1931)	(Saccardy, 1937)	(FAO, 1958)	(Ceduli, 1977 in Salazar sampaio, 1988)	(Benabid, 1989)	(Pereira et al, 2008)

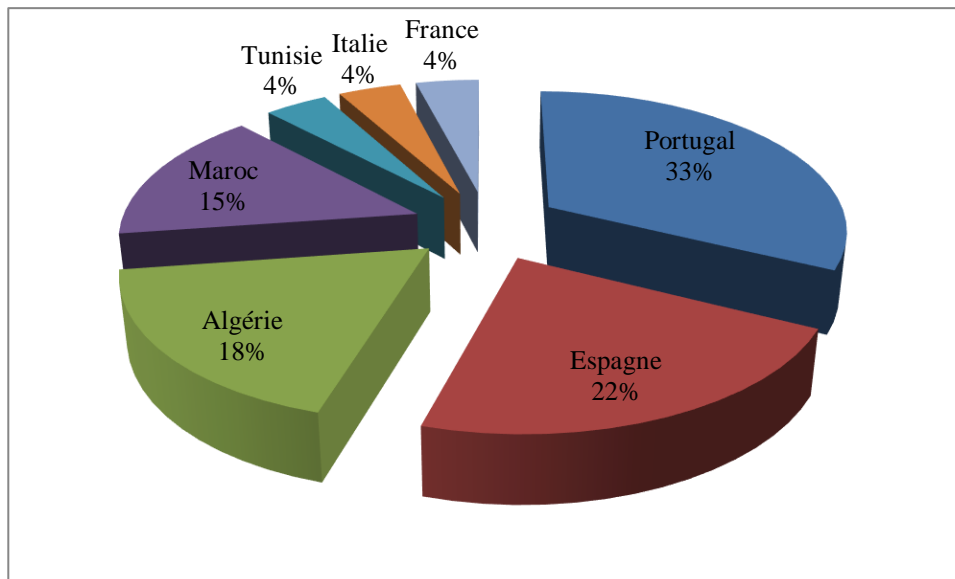


Figure 3. Superficies estimées des forêts de chêne-liège par pays

3. Caractères botaniques

Le chêne-liège est un arbre de taille moyenne qui atteint ordinairement 10 à 14 mètres de haut, exceptionnellement jusqu'à 20 et 22 mètres (Saccardy, 1938). Son port est variable en fonction de la densité du peuplement : tronc court et houppier étalé dans les peuplements clairs ou tronc long et houppier élancé dans les peuplements denses. C'est une espèce héliophile qui présente un couvert léger laissant passer la lumière. L'arbre peut vivre jusqu'à 250 à 300 ans, mais les levées successives de liège diminuent fortement cette remarquable longévité à environ 150 à 200 ans ; les levées successives de liège, avec des rotations de 9 à 11 ans, sont possibles jusqu'à 50 à 200 ans (Vignes, 1990).

3.1. Appareil végétatif

3.1.1. Racines

Un système racinaire robuste et pivotant est constitué par de fortes et longues racines qui fixent l'arbre solidement dans le sol avec des ramifications latérales puissantes qui permettent l'approvisionnement en eau et en éléments minéraux et qui peuvent en outre être mycorhizées par des champignons du genre : *Boletus*, *Lactarius*, *Hebeloma*, *Ressula*, *Inocybes*, *Pisolithus*. Le chêne-liège rejette vigoureusement de souches jusqu'à un âge avancé facilitant la reprise après coupe ou incendie (Cantat et Piazzetta, 2005).

3.1.2. Tronc

Le tronc est assez court, la tige principale est tortueuse et la ramification peu serrée. Dans les grosses branches le bois, élément de résistance, ne forme qu'un petit cylindre central entouré d'une épaisse couche d'écorce subéreuse (figure 4), d'où la sensibilité de l'arbre aux chutes de neige lourde et aux grands vents (Saccardy, 1938). La circonférence du tronc à 1,30 m du sol est de 70 cm entre 30 et 40 ans selon les conditions de végétation (Yessad, 2000).

3.1.3. Rameaux

Les rameaux du chêne-liège sont sinueux pubescents les premières années, puis bruns clairs et enfin entièrement subéreux (Piazzetta, 2005).

3.1.4. Bois

Le bois est dur, très lourd et compact avec une densité variant de 0,80 à 1,03 et de 0,91 en moyenne et une couleur brune claire et légèrement rosé. Il est difficile à travailler et se crevasse profondément en séchant (Lamey, 1893). Une fois déliégé, il fournit un excellent bois de chauffage et de construction (Bouhraoua, 2003 ; Cantat et Piazzetta, 2005).

3.1.5. Ecorce

L'écorce du chêne-liège est un tissu parenchymateux constamment formé par l'assise subérophellodermique pendant le cycle de vie de l'arbre par suite de l'accroissement constant de la section transversale de leurs troncs et branches (figure 4). En termes de production, on appelle « liège mâle » ou « liège naturel », celui de la première formation (Boudy, 1955), c'est un tissu mort de couleur grisâtre, épaisse, spongieux, très fortement crevassé longitudinalement, élastiques, compressible, qui résiste parfaitement aux incendies (Maire, 1961). La deuxième couche interne est en contact avec le bois, c'est le liber, appelé encore mère.

Après l'enlèvement de liège mâle « démasclage » qui se fait dès que le tronc atteint 70 cm de circonférence, il s'est remplacé par le « liège femelle » ou « de reproduction » qui est moins crevassé, plus homogène, plus élastique que le liège mâle, on l'enlève quand l'épaisseur voulue est atteinte, environ 3 cm au bout d'une douzaine d'années.

3.1.6. Feuilles

Les feuilles de *Quercus suber* sont persistantes en ce sens qu'elles vivent plus d'une année entière. Elles sont alternes, simples, coriaces dentées ou pas, présentent un polymorphisme très marqué (oblongue, ovale, ou lancéolée), d'un arbre à un autre et même sur le même arbre (Yessad, 2000). Elles sont vertes et lisses en dessus, gris blanchâtres au-dessous et duveteuses. Le débourrement a

lieu au printemps. En effet la majorité des anciennes feuilles tombent graduellement au fur et à mesure que les nouvelles se forment, de sorte que l'arbre n'est jamais complètement dépouillé (Natividade, 1956). Leur taille varie de 3 à 6 cm en longueur et de 2 à 4 cm en largeur.

3.2. Appareil reproducteur

3.2.1. Fleurs

Les châtons mâles allongés et réunis par bouquets pendants, apparaissent à l'extrémité des pousses de l'année précédente (figure 4). Les fleurs femelles naissent à l'aisselle des pousses de l'année sous forme d'une petite cupule écailleuse (Saccardy, 1938). La floraison commence vers l'âge de 12 à 15 ans et se déroule entre la fin avril et la fin mai et elle est conditionnée par le climat et l'exposition (Lamey, 1893).

3.2.2. Fructification

Les glandées n'apparaissent que tous les 2 à 3 années (Saccardy, 1937 ; Boudy, 1950 et 1952 ; Seigue, 1985 ; Richard, 1987) et parfois toutes les 4 années pour les subéraies de montagne (Stiti, 1999 et Nsibi, 2006). Cette alternance de la fructification qui caractérise le chêne-liège dépend du milieu et due à plusieurs facteurs, notamment, la lente accumulation des réserves nécessaires au processus de reproduction soit en raison de la pauvreté et de la sécheresse des terrains sur lesquels les arbres végètent d'habitude, soit par la suite de la haute pression osmotique de la sève qui est en rapport avec le lent déroulement des processus physiologiques (Monteiro, 1956 et Stiti, 1999). L'irrégularité des glandées pourrait résulter aussi de l'irrégularité de la floraison, elle-même due aux attaques des insectes défoliateurs, aux gaulages, aux mutilations des arbres par des bergers et des conditions climatiques parfois sévères, en particulier, le pollen et les conditions de pollinisation sont souvent apparus comme des causes déterminantes dans les caractères irréguliers de la fructification (Nsibi, 2006).

3.2.3. Fruit

Le fruit est un gland, qui mûrit généralement dans l'année même de floraison, de taille et de forme très variables, lisse, brillant et de couleur brune, menu d'une cupule à écailles allongées, saillantes à l'apex (Quezel et Santa, 1962). La production des glands par arbre est très variable, de 1 à quelques dizaines de kilogrammes, selon l'âge, l'état sanitaire de l'arbre et les conditions climatiques (Natividade, 1956). Leur chute s'échelonne d'octobre à janvier. Les glands sont amers et constituent un aliment de choix pour le bétail et le sanglier (Messaoudene, 2000).

Les glands de *Quercus suber* sont des graines récalcitrantes et non dormantes avec une teneur en eau importante, une activité respiratoire remarquablement élevée et un taux de germination important dès la maturation (Stiti, 1999). Toutefois, ces graines sont sensibles au froid ce qui constitue un obstacle majeur à leur conservation à moyen et à long terme. En plus, la germination semble procurer une certaine résistance au froid, dont les mécanismes et les limites ne sont pas encore complètement élucidées (Preney et al. 1997).



Figure 4. Différentes parties de l'arbre de chêne-liège : (A) récolte de liège sur le tronc ; (B) châtons mâles ; (C) fruit (gland) ; (D) rameau subéreux ; (E, F) liège.

4. Ecologie du chêne-liège

L'espèce a des exigences relativement strictes mais elle présente par ailleurs une certaine rusticité lui permettant de survivre dans des conditions du milieu peu favorables (Bouhraoua, 2003). Sa répartition géographique est définie par certaines exigences écologiques, à savoir, l'altitude et l'exposition, les conditions climatiques et les conditions édaphiques.

4.1. Altitudes et exposition

L'espèce peut être rencontrée au littoral et elle se développe convenablement en plaine et en montagne. En Algérie, son extension en altitude est généralement limitée à 1200 m, rarement 1300 à 1400 m (Boudy, 1952), exceptionnellement à 1600 m à Teniet El-Had (Saccardy, 1937), mais ne prospère bien que vers 900 à 1000 m (Camus, 1938). Le chêne-liège descend jusqu'à 200 m au voisinage des côtes atlantiques au Portugal, et atteint 2000 m sur les pentes humides exposées au nord dans le grand Atlas marocain. Selon Tlili (2003), les limites altitudinales varient considérablement avec l'exposition.

4.2. Lumière et Température

Le chêne-liège est une essence héliophile, exigeant une forte insolation. Il est thermophile, pousse donc sous des climats tempérés à hiver doux dont les températures moyennes annuelles sont comprises entre 13 et 18°C (Boudy, 1950). Il peut supporter des chaleurs occasionnelles 35 à 40°C (Bouhraoua, 2003), et la tolérance au froid semble se situer à la limite de - 4°C (Alatou et al. 2005). Cependant, il craint les fortes gelées persistantes et a besoin d'une période de sécheresse en été pour prospérer.

4.3. Pluviométrie et humidité

Le chêne-liège est remarquablement plastique vis-à-vis des précipitations. Il peut survivre dans des zones à très faibles précipitations (400-500 mm) mais une bonne croissance exige des pluies plus abondantes (600-700 mm). Une humidité atmosphérique de l'ordre de 60% au moins durant les quatre mois de saison sèche, condition qu'il rencontre seulement au voisinage de la mer en zone méditerranéenne, mais jusqu'à 200 à 300 kilomètres des côtes atlantiques (El Antry et al, 2008). Lorsque la pluviosité descend au-dessous de 400 mm/an, l'essence peut régresser et semble sortir de son aire culturale, la raison pour laquelle le chêne-liège ne s'étend pas sous le climat sec des hauts plateaux particulièrement en Algérie (Dehane, 2012). Selon Zeraïa (1981), la fréquence des pluies pendant la période estivale constitue l'élément le plus important pour la régénération de cette espèce. Le même auteur souligne qu'en ambiance bioclimatique perhumide, humide et subhumide à variantes tempérée, chaude, fraîche et localement froide, le chêne-liège développe

des peuplements sylvatiques. Par ailleurs et grâce aux compensations écologiques, il est présent également en étage bioclimatique semi-aride chaud et tempéré (Achhal et al. 1980 ; Benabid, 1982a).

4.4. Sol

Le chêne-liège est une essence nettement calcifuge, préférant les sols siliceux provenant de grès de l'éocène tels que les grès numidiens (Algérie, Tunisie) et les sables pliocène (Maroc) ou à la rigueur argilo-siliceux (Veillon, 1998). Il recherche des sols meubles, de textures légères, bien aérées et riches en matière organique, profonds au pH acide ou proche de la neutralité (Kheloufi et al. 2015). Selon Boudy (1951) et Lepoutre (1965), les contraintes édaphiques sont responsables d'une bonne part du taux d'échecs des plantations des semis de chêne-liège.

4.5. Etage de végétation

Le chêne-liège est une espèce de mésoméditerranéen et de thermoméditerranéen. Il peut aussi se développer au niveau de supra-méditerranéen et au méditerranéen supérieur sans qu'il soit l'essence principale de ces deux étages de végétation (Achhal et al. 1980 ; Barbéro, Quézel et Rivas-Martinez, 1981 ; Benabid, 1982b).

4.6. Associations du chêne-liège

Plusieurs travaux de recherche scientifiques ont été réalisés dans les subéraies en région méditerranéenne occidentale (Sauvage, 1961 ; Quézel, 1974 ; Loisel 1976 ; Barbero et al. 1981 ; Zeraïa, 1982 ; Rivas-Martinez et al. 1984). En se basant sur ces travaux et sur la distribution spatiale de l'espèce, trois régions forestières ont été délimitées pour déterminer et situer les associations du chêne-liège (Belouahem, 1998) :

- La région basse côtière à laquelle correspond le *Quercetum suberis* à faciès dunaire.
- La région montagneuse côtière entre 0 et 300 m d'altitude, où se trouve le *Quercetum suberis* à faciès littoral.
- La région montagneuse intérieure entre 300 et 1000 m d'altitude à laquelle correspond le *Quercetum suberis* à faciès montagnard.

Du point de vue phytosociologique, le chêne-liège partage l'espace avec d'autres essences telles que :

- Strate arborescente : chêne vert, chêne zeen, chêne afares, pin maritime.
- Strate arbustive: *Arbutus unedo*, *Asparagus acutifolius*, *Asphodelus microcarpus*, *Erica arbore*, *Erica scoparia*, *Calycotome spinosa*, *Calycotome villosa*, *Chamarops humilis*,

Cistus monspeliensis, Cistus salviaefolius, Clematis cirrhosa, Clematis flammula, Cytisus triflorus, Daphne gnidium, Genista tricuspidata, Grataegus oxyacantha ssp monogyna, Lavandula stoechas, Myrtus communis, Phillyrea angustifolia, Phillyrea media, Pistacia lentiscus, Pulicria odora, Petris aquiline, Rhamnus alaternus, Ruscus aculeatus, Viburnum tinus, Urginea maritima.

5. Sylviculture et aménagement

La plupart des programmes d'aménagement et les traitements sylvicoles appliqués aux subéraies et qui visent le développement du peuplement, notamment son renouvellement, ou à augmenter son rendement et sa qualité, ne leurs sont pas adaptés. Les causes sont multiples, surtout en raison de l'absence de tradition et/ou de politique en matière de subériculture et du fait que les travaux de recherches relatives dans ce domaine ne sont pas développés et par conséquent leur application constitue un phénomène de fragilisation, de dégradation et de destruction des subéraies (Messaoudene, 1998 ; Benabid, 2000 ; Aafi, 2007).

La prise en charge de la régénération des subéraies est préalable et indispensable pour assurer le renouvellement et la pérennité des peuplements et par conséquent une production soutenue. Autrement dit, pour préserver des peuplements productifs restants d'une part, et restaurer ceux dégradés d'autre part, nous devons investir et appliquer les traitements cultureux nécessaires (Messaoudene, 1998).

5.1. Futaie régulière claire et basse

C'est la structure idéale au sens productif et elle se conduit assez facilement. La croissance radiale doit être avantagée au dépend de la croissance en hauteur de telle sorte à réduire le rapport H/D surtout dans les subéraies de montagne où les risques de chablis sont élevés. Les paramètres à prendre en considération pour aboutir à cette structure régulière sont : une distribution normale des classes d'âge ou de diamètre dans l'unité de gestion, une densité de 100 à 200 tiges par hectare à l'âge de 100 ans et une hauteur n'excédant pas au maximum 12 m (Messaoudene, 1998).

5.2. Futaie irrégulière

Il s'agit d'une structure complexe, très difficile à obtenir dans les peuplements spontanés actuels. Le but recherché par cette structure est d'obtenir dans chaque parcelle la diversité de classes de diamètre des tiges. Cette gestion assure un revenu régulier, sans trop de production, grâce à un renouvellement continu du peuplement. Elle nécessite cependant des interventions sylvicoles régulières pour maintenir l'équilibre (Messaoudene, 1998 ; C.F.T., 2008).

5.3. Taillis sous futaie

Le fort pouvoir du chêne-liège à rejeter de souches, même à un âge avancé, permet d'obtenir, sans contrainte, cette structure constituée à la fois d'un étage dominé formé de rejets de souches et d'un étage dominant formé d'arbres de la futaie. La proposition de maintenir et de favoriser le régime du taillis sous futaie dans les subéraies Algériennes s'inscrit dans le cadre global de la sauvegarde de l'espèce étant donné ses potentialités de se perpétuer de souche. Comme pour la futaie jardinée, le taillis, éduqué de telle sorte à présenter plusieurs classes d'âge. Cette structure est facile à orienter. Néanmoins, sa stabilité temporelle nécessite des entretiens fréquents ; l'équilibre des classes de diamètre fait appel à des éclaircies périodiques (Messaoudene, 1998).

5.4. La levée de liège

La mise en valeur et la récolte du liège, sont des techniques qui consistent à enlever manuellement les deux types de liège : le liège mâle et le liège femelle, produits par l'arbre du chêne-liège, sans pour autant provoquer le déséquilibre sanitaire de l'arbre.

5.4.1. Démasclage ou mise en valeur

C'est une opération qui consiste à enlever la première écorce du chêne-liège appelée aussi le liège mâle ou naturel ou vierge sans endommager l'assise génératrice. En effet, l'arbre est mis en production, puisque le liège mâle qui est impropre à toutes utilisations industrielles, sauf à la trituration pour la fabrication des panneaux d'isolation, est retiré afin que se développe du liège femelle économiquement intéressant (Natividade, 1956 ; Vignes, 1990 ; Margot, 2006). Cette opération peut être appliquée quand l'arbre atteint l'âge de 25 à 50 ans et atteint une circonférence d'au moins 60 à 70 cm, à 1 m du sol (Bouchafra et Fraval, 1991).

5.4.2. Déliégeage

Après la mise en valeur de l'arbre, la récolte de liège femelle ou liège de reproduction est pratiquée périodiquement entre mi-mai en plaine, mi-juin en montagne et prend fin en août avec des rotations de 9 à 12 ans. En moyenne de 6 à 9 récoltes, voire 15 au maximum peuvent être effectuées sur le même arbre (Boudy, 1950 ; Natividade, 1956 ; Arnaudies et Piazzetta, 2006). Le liège femelle présente des propriétés différentes à celles du liège mâle et qui sont très recherchées dans plusieurs domaines industriels, grâce à sa souplesse, élasticité, imperméabilité, inconductibilité thermique et acoustique (Boudy, 1950 ; Natividade, 1956 ; Lombardini et al. 2005 ; Arnaudies et Piazzetta, 2006 ; Varela, 2008), s'améliorent au fur et à mesure de l'exploitation du liège, à partir de la 3^{ème} récolte.

6. Régénération de chêne-liège

6.1. Régénération naturelle par semis

Elle se fait naturellement par semer des glands tombés de l'arbre. Elle est liée directement au cycle de fructification, de leur fréquence, de l'abondance et de la qualité des semences, des conditions climatiques et de la nature du sol. La régénération des peuplements du chêne-liège reste difficile dans les pays sud-méditerranéens que les autres pays à cause de la difficulté des conditions stationnelles, et parce que le stock de glands source principale de repeuplement, subit de grandes pertes au sol et sur l'arbre, dues aux multiples prédateurs (Boudy, 1950 ; Marion 1955 ; Nsibi et al, 2006).

6.2. Régénération naturelle par rejet de souche

Le chêne-liège repousse vigoureusement de souches jusqu'à un âge avancé de 100 à 120 ans en étage humide et subhumide et 80 à 90 ans en étage semi-aride pour les arbres non démasclés, étant étendu que ces chiffres doivent être réduit d'au moins 10 à 15% lorsque les arbres ont donné de nombreuses récoltes de liège (Boudy, 1950 ; Cemagref, 1983). En effet, il a été constaté que le diamètre moyen requis pour espérer obtenir une bonne régénération par rejet ne doit guère dépasser les 80 cm (Messaoudene et al, 2009). Les rejets croissent nettement plus vite que les brins de semence et on peut estimer qu'il existe un décalage de dix ans au moins en ce qui concerne l'âge et la dimension minima (Boudy, 1950).

6.3. Régénération artificielle (semis direct et plantation)

Pour la préservation des subéraies et par défaut de régénération naturelle qui ne suffit pas pour assurer la régénération du chêne-liège, nous devons avoir recours à la voie artificielle. Celle-ci étant basée sur le semis direct des glands ou la transplantation de plants élevés en pépinière pendant quelques mois. De nombreux essais de semis directs ont abouti à des échecs considérables dans toute la région méditerranéenne et d'autres techniques ont été proposées pour la reconstitution artificielle du chêne-liège (Messaoudene, 1984 ; Sondergaard, 1991 ; Carvallo et Morais, 1996 ; Louro, 1999 ; Stiti et al. 2014). La plantation artificielle s'avère une solution efficace si les conditions d'élevage en pépinière et les méthodes de plantations sont maîtrisées (Varela et Piazzetta, 2014).

7. Facteurs de dégradation de chêne-liège

La subéraie Algérienne est en continuelle régression à l'image des subéraies du pourtour méditerranéen. Cette régression a été attribuée aux multitudes facteurs biotiques, abiotiques et

anthropiques qui affectent négativement la survie, la croissance et la vigueur des arbres, ceux-ci deviennent fragiles et exposés aux attaques de parasites secondaires et de champignons phytopathogènes ayant pour conséquence l'altération plus accentuée de la physiologie de l'arbre et de sa productivité subéreuse (Messaoudene, 1998 ; Sebei et al. 2004 ; Zine El Abidine et al. 2016).

7.1. Régénération naturelle déficiente

Le chêne-liège n'entre en fructification qu'à l'âge de 18 - 20 ans, et elle est irrégulière et alternante. La conservation des glands est difficile à cause de son teneur en eau très élevée. Le vieillissement des peuplements, l'enrésinement par le pin d'Alep et le pin maritime principalement et l'absence des travaux sylvicoles de protection et de renouvellement, tous ces facteurs reflètent une situation préoccupante de ce patrimoine forestier.

7.2. Action du climat

De nombreux rapports nationaux, font référence à la menace que le changement global du climat représente pour les écosystèmes forestiers. Tous les scénarios prévus par le groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat auront des conséquences importantes sur la répartition géographique des espèces (GIEC, 2007).

Le climat méditerranéen est caractérisé par une durée de sécheresse importante estimée selon Boudy (1951) de trois à quatre mois par an. Il s'agit du seuil de sécheresse méditerranéen, lorsque la durée de sécheresse dépasse ce seuil de tolérance, elle peut entraîner des effets néfastes sur la végétation en général, et particulièrement sur le chêne-liège, qui ne supporte pas les longues périodes de sécheresse à répétition à cause de ses exigences hydriques qui devient plus vulnérable aux diverses agressions externes notamment les attaques d'insectes ravageurs (Rouibah et al. 2018).

7.3. Modification de l'habitat

L'expansion de l'agriculture, due en grande partie aux effets directs et indirects de la croissance progressive de la population humaine, est l'une des principales causes de la disparition des zones forestières (Geist et Lambin, 2002). En Algérie, de nombreuses régions subéricoles témoignent cette situation, par des activités humaines telles que l'urbanisation, la construction de routes, la déforestation ou l'installation de l'agriculture. Ces activités réduisent les effectifs de l'espèce, modifient sa distribution dans l'espace et conduisent à une fragmentation de l'habitat. D'après Thompson et Ronce (2010) « *la fragmentation décrit un ensemble de processus qui transforme*

une surface continue d'habitat naturel en un nombre plus ou moins important de fragments de taille variable ». La fragmentation peut se manifester par :

- La réduction en surface d'un habitat ;
- L'isolement de parcelles/fragments de l'habitat dans le paysage ;
- L'augmentation du nombre de parcelles ;
- La réduction de la taille des parcelles ;
- Grandes distances entre les parcelles.

7.4. Surpâturage

Comme son nom l'indique, le surpâturage désigne un excès de pâture (broutage) par des animaux généralement domestiques. Les massifs forestiers algériens constituent les principaux terrains de cette pratique qui a de lourdes conséquences sur la végétation des subéraies. Un troupeau, composé d'ovin, de bovin et de caprin, avec une charge pastorale (effectifs) excessive et incontrôlée, empêche toute régénération naturelle des peuplements de chêne-liège, par broutage et prélèvement d'une quantité très importante de la biomasse et d'autre part par le piétinement qui contribue au tassement des sols qui deviennent non favorables au développement des jeunes semis.

7.5. Incendies

Les incendies de forêts sont considérés historiquement comme l'un des facteurs explicatifs de la dégradation des forêts méditerranéennes en ravageant annuellement des surfaces souvent considérables. Caractérisé par une fréquence et une intensité, ce facteur a contribué à la régression alarmante de la superficie des subéraies au cours de ces dernières années. Après le passage du feu, le chêne-liège survit grâce à la couche liégeuse qui protège le tronc, lui évitant d'être endommagé et tend à se reconstituer normalement (Pausas, 1997 ; Trabaud, 1992). Par contre, les incendies causent beaucoup de dommages sur les plantules et les jeunes arbres, en détruisant notamment la totalité de leur biomasse aérienne (Hoffmann, 1999 ; Higgins et al. 2000 ; Hoffmann et al. 2003). Au niveau du sol, les micro-organismes sont forcément affectés, particulièrement ceux présents dans les couches superficielles (Gillon et al. 1987 ; Hernandez et al. 1997). En outre, il y a une augmentation de la température du sol et au-delà de certaines températures plus élevées, les modifications du sol sont soit irréversibles, soit fortement nuisibles pour la croissance des plantes (Kang et Sajjapongse, 1980). Le feu peut donc aussi diminuer la fertilité d'un sol (Vennetier, 2004).

7.6. Insectes

Différents insectes et champignons interviennent dans le dépérissement fréquent des peuplements de chêne-liège. Les plus répandus sont cités ci-dessous :

8.6.1. Insectes ravageurs des racines

Nous citons surtout les vers blancs. Ce sont en général des larves de divers insectes principalement de la famille des scarabaeidae qui vivent dans le sol. Les larves creusent des galeries et s'alimentent des racines. Les dégâts sont importants et parfois irréversibles sur les jeunes plants ou semis. Ils interviennent directement dans les problèmes de régénération naturelle et de taux de reprise dans les plantations. (Rachdi et Haddan, 1999 ; Iprocor, 2000).

7.6.2. Insectes défoliateurs

Le Bombyx disparate (*Lymantria dispar*), est le phyllophage le plus terrible des ennemis du chêne-liège, pouvant défolier tous les arbres d'un massif sur plusieurs milliers d'hectares. Un ravageur imprévisible, s'avérant parfois très virulent. En effet, les chenilles se nourrissent des feuilles entraînant une défoliation complète de l'arbre en juillet/août. Ces attaques peuvent intéresser d'importants territoires sur plusieurs milliers d'hectares et compromettre aussi bien la glandée que la récolte du liège (Fraval, 1989 ; Hett, 1993 ; Villemant, 1994 ; Cerboneschi, 1999).

La Tordeuse verte du Chêne (*Tortrix viridana*) : Les jeunes chenilles se nourrissent de bourgeons, de jeunes pousses et de feuilles. L'activité importante des chenilles se traduit par un déséquilibre physiologique de l'arbre (réduction de la surface foliaire) et par la destruction des bourgeons floraux, ce qui entraîne une carence de la régénération. (Richard, 1987 ; Yessad, 2000 ; Bouhraoua, 2003).

7.6.3. Xylophages

Le Grand Capricorne du Chêne (*Cerambyx cerdo*) est un xylophage qui s'attaque notamment aux vieux arbres. C'est un ravageur secondaire dont la présence est facilement repérable en raison de sa grande taille. La jeune larve vit dans l'écorce, elle creuse 2 galeries, l'une vers l'extérieur (pour le futur adulte), l'autre vers l'intérieur (pour la logette nymphale), la nymphose dure 32 jours. (El Antry, 1999 ; Yessad, 2000).

Le Bupreste du chêne (*Coroebus bifasciatus*) : Sa présence se caractérise par des branches sèches sur la partie extérieure du houppier. La larve de ce coléoptère xylophage se nourrit de bois jusqu'à la formation de la chrysalide. Elle détruit les tissus conducteurs de la sève. Les dégâts sont mineurs mais peuvent être contraignants sur de jeunes plants (Abgrall et Soutrenon, 1991).

Le Platype (*Platypus cylindrus*) est un ravageur secondaire attaquant seulement des arbres presque morts ou très affaiblis. Durand et al. (2004), ont affirmé que les arbres déliégés constituent les cibles principales de cet insecte. Au Maroc, la période de déliégeage coïncide avec le vol de ce ravageur à la recherche de nouveaux arbres à coloniser (EL Antry et al. 2008). En Algérie, l'insecte a été cité pour la première fois par Lucas (1849) à l'Est et aux environs d'El Colle puis par Chapuis en 1865 en Kabylie et à Alger en 1907 par Rudolf-Tredl. Dans les régions de Tlemcen, Oran, Mascara, l'insecte a été associé aux dégâts économiquement importants (Bouhraoua et Villemant, 2005 ; Belhoucine et al. 2011) ainsi que dans la région de Béjaia (Chakali et al. 2002).

7.6.4. Corticaux

La Fourmi (*Crematogaster scutellaris*) est très présente dans les subéraies, vive en colonies très peuplées et comportent souvent plus de 5000 individus. Cette fourmi du liège est particulièrement crainte par les leveurs en raison des morsures qu'elle occasionne. Elle affecte le liège et le tissu compris entre le bois et le liège. Il en résulte, un liège troué, perdant toute valeur marchande (Casevitz-Weulersse, 1981 ; Yessad, 2000 ; Bouchaour-Djabeur, 2013).

7.6.5. Gallicoles

Drymonia lichtensteini est reconnaissable sur le chêne-liège grâce aux petites bourses sur la face inférieure des feuilles (Ghanem et al. 2011).

7.6.6. Insectes parasitant les fruits

Le Charançon (*Curculio glandium*) pond dans les glands et sort en lissant un gros trou bien visible, signe de son passage. Ce Charançon est particulièrement dévastateur des glandées et donc de la régénération naturelle, la totalité des glands visités ne sont plus viables.

7.6.7. Champignons phytopathogènes

Plusieurs espèces fongiques sont pathogènes pour les arbres de chêne liège. Elles provoquent des dégâts qui touchent les différentes parties de l'arbre. Parmi les plus fréquentes on cite :

Ciboria batschiana est un champignon pathogène des glands, considéré comme le plus dommageable, il provoque l'apparition d'une pourriture noire (Stiti, 1999).

Biscogniauxia mediterranea = *Hypoxylon mediterraneum* est un champignon des blessures qui infecte de nombreuses espèces de chênes, et responsable d'importants dégâts dans les subéraies. Il prend l'apparence de plaques sous corticales carbonacées, noires et dures, elles apparaissent par les

fissures longitudinales de l'écorce (Hawksworth, 1972 ; Abgrall et al. 1990 ; Ju et al. 1998 ; Franceschini et al. 1999).

Diplodia mutila est un parasite endophyte secondaire qui attaque les arbres blessés lors du démasclage. Il contribue avec d'autres facteurs adverses au déclin progressif des forêts de chêne-liège. Les mortalités sont souvent localisées dans des milieux humides, et sur des arbres physiologiquement affaiblis. Chez les jeunes plants en particulier, il est responsable du flétrissement brusque et de la brûlure des jeunes pousses (Bakry et al. 1999 ; El Badri et Abadie, 1999 ; Franceschini et al. 1999).

Phytophthora cinnamomi est un champignon racinaire responsable de la maladie de l'encre. Il infecte les arbres en croissance individuelle ou en groupe envahissant les racines, les colliers et les troncs, à partir desquels un exsudat noir suinte souvent (Moricca et al. 2016). Les arbres infectés montrent une perte importante de racines latérales, petites, ligneuses et de fines racines. Par conséquent, le système racinaire est entravé dans l'absorption et le transport de l'eau et des nutriments, ce qui provoque la mort de la plante (Camilo-Alves et al. 2013). Depuis les années 80, des dépérissements de chênes-lièges dus à ce pathogène sont observés dans plusieurs pays méditerranéens (Brasier, 1992 ; Robin et al. 1998).

8. Importance du chêne-liège et de la subéraie

8.1. Importance écologique

Les subéraies jouent un rôle essentiel dans l'équilibre écologique mondial par :

- **La lutte contre le changement climatique :** Au cours de sa vie (plus de 200 ans), le chêne-liège absorbe une quantité importante de gaz de carbone et il se transforme en véritable puits à carbone, ce qui contribue à la réduction des émissions de gaz à effet de serre, principale cause du changement climatique.
- La protection contre l'érosion et la désertification : les forêts de chêne-liège contribuent à la régulation du cycle de l'eau en favorisant l'infiltration de l'eau de pluie et en prévenant l'érosion des sols ;
- Le maintien de la biodiversité : les subéraies abritent un nombre important des espèces animales et végétales dont certaines sont menacées ;

8.2. Importance sociale

Dans les rives septentrionales et méridionales de la Méditerranée où l'aire de répartition du chêne-liège coïncide souvent avec des zones où les autres sources de revenus et d'emplois sont limitées, les subéraies contribuent à l'amélioration des conditions de vie des populations rurales par :

- Le maintien sur place d'une population rurale ;
- La création d'emplois : Grace aux travaux sylvicoles et les campagnes de récolte de liège ;
- La pratique dans la subéraie, du pâturage et d'autres activités agricoles (apiculture) génératrices de revenus ;
- L'exploitation des produits forestiers non ligneux (PFNL) issue de la subéraie tels que, les produits d'alimentation (champignons, truffes, fruits et graines...etc.), les plantes médicinales et les plantes aromatiques, les produits de chasse (petit et gros gibiers) et les produits artisanaux. Provenant de la simple cueillette par les usagers de la forêt, ces produits présentent un intérêt socio-économique important ;
- La création des unités de transformation du liège (publique et privée) qui procurent un emploi permanent et saisonnier aux populations locales.

8.3. Importance économique

L'importance économique du chêne liège réside essentiellement dans son écorce, le liège, qu'il produit régulièrement tout au long de sa vie et qui valorise le plus les subéraies. Ce matériau particulièrement léger, souple, élastique, imperméable et non conducteur pour la chaleur, constitue une ressource stratégique du fait de ses multiples usages : bouchonnerie, parquet, isolation thermique, la décoration et le revêtement, etc. (CIPS, 2006 ; Rossello et Beltran, 2008). Le tanin provient de l'écorce en fournissant à l'industrie un deuxième produit utilisé dans le tannage des cuirs et des peaux (Bouchaour-Djabeur, 2001). Son bois utilisé dans la fabrication des traverses de chemin de fer, et de tonneaux. Ses caractéristiques physiques et mécaniques ne lui permettent pas d'être utilisé en menuiserie pour l'ameublement car il est lourd, compact et se fend très facilement en séchant (Bonnier, 1990 ; Berrichi et al. 2010). Les feuilles et glands, qui sont très appréciés par le bétail forment un complément important pour l'alimentation des animaux notamment en période de disette (Ben M'hamed et al. 2002 ; Karem, 2008).

CHAPITRE II. ETUDE DES CARACTERISTIQUES MORPHOLOGIQUES DES GLANDS ET DES PARAMETRES DE CROISSANCE DES SEMIS DE CHENE-LIEGE DE DEUX PROVENANCES : DU NORD-EST (JIJEL) ET DU NORD-OUEST (TLEMCEN) DE L'ALGERIE.

Chapitre II. Etude des caractéristiques morphologiques des glands et des paramètres de croissance des semis de chêne-liège de deux provenances : du Nord-est (Jijel) et du Nord-ouest (Tlemcen) de l'Algérie.

Résumé

La connaissance des propriétés germinatives des semences permet de définir avec précision les conditions de leurs utilisations en fonction des objectifs souhaités. L'objectif de ce travail, vise à étudier les caractéristiques morphologiques des glands de chêne-liège (*Quercus suber* L.) issus de la forêt de Hafir (Tlemcen) et d'El Aouana (Jijel) et de tester l'effet de ces caractères sur la germination des glands, la croissance et le développement des jeunes plants. Pour ce faire, les variables quantitatives (la longueur, la largeur et le poids) et les variables qualitatives (la forme et la couleur) ont été mesurées pour un ensemble de 500 glands échantillonnés. Ainsi, un dispositif expérimental a été mis en place sous les conditions de production de plants forestiers. Les résultats obtenus montrent que les glands testés présentent une variation sur le plan biométrique. Ces variations n'ont aucun effet sur la germination des deux catégories de glands (petite et grande taille), avec un taux de germination qui varie entre 90 à 95% pour les deux provenances étudiées. Pour les paramètres de croissances, on a constaté une différence en fonction de la taille des glands.

Mots clés : Chêne-liège, glands, provenance, caractérisation morphométrique, germination, croissance, Hafir-Tlemcen, El Aouana-Jijel.

1. Introduction

Le chêne-liège, figure parmi les espèces forestières les plus importantes des forêts méditerranéennes pour ses surfaces occupées et ses multiples rôles socio-économiques et environnementaux (Aronson et al. 2009 in Bouderrah et al. 2017). Les subéraies algériennes revêtent un caractère particulièrement important car elles constituent un élément essentiel de l'équilibre physique, climatique et surtout socio-économique des populations des zones rurales et du pays en général (Bouhraoua, 2003).

Le diagnostic de l'état actuel du patrimoine subéricole Algérien fait ressortir de longues vicissitudes conduisant à son instabilité et sa dégradation dans le temps (Cheriet, 2009). Il est soumis à de fortes pressions et dégradations, réduisant sa superficie et limitant sa régénération naturelle (Alili, 1983 ; Yessad, 2000 ; Quezel et Médail, 2003 ; Abbas, 2006).

Presque tous les peuplements de chêne-liège sont d'origine spontanée, ou bien régénérés par voie de semences à partir d'anciens peuplements, ou par dissémination naturelle des glands. Cette régénération naturelle est très aléatoire (Marion, 1955), parce que le stock de glands subit de grandes pertes au sol et sur l'arbre à cela, il faut ajouter les faibles glandées et leur irrégularité (Nsibi, 2005).

Face à la pression exercée sur cette espèce, la caractérisation de la graine, matériel végétal qui reste et demeure le dépositaire ultime du pouvoir de production des plantes, devient incontournable et constitue une étape capitale pour l'identification d'une espèce (Mansour et al. 2011 ; Semde et al. 2015). Des études ont démontré que les glands varient considérablement en masse et en volume au sein d'un même peuplement (Kremer, 1990 ; Thill, 1994). Dans ce contexte, il devient donc nécessaire de vérifier s'il existe une relation entre les dimensions des glands et la qualité des plants produits.

Cette étude a pour objectif d'évaluer la variation des paramètres morphologiques des glands de chêne-liège (*Quercus suber* L.) au sein de la même provenance et entre les deux provenances issues de la subéraie de littoral d'El Aouana (Jijel) et de la subéraie de montagne de Hafir (Tlemcen), et d'analyser également l'effet de ces variations morphométriques sur la germination des glands, la croissance et le développement des jeunes plants.

2. Matériel et méthodes

2.1. Matériel végétal

Le matériel végétal ayant servi à notre étude est constitué des glands frais et mûrs provenant des deux peuplements naturels de chêne-liège dans la forêt domaniale d'El-Aouana, canton d'Aghzar qui est géographiquement situé à 18 km Nord-ouest de chef-lieu de la wilaya de Jijel (36.45 ; 29.11°N ; 05.39 ; 57.60°E) et à 30 m d'altitude (figure 5) et de la forêt domaniale de Hafir située de 15 km au sud-ouest de la ville de Tlemcen entre les coordonnées (34°47' N à 34°50' S ; 1° 25' E à 1° 34' W) et à 1270 m d'altitude (figure 6). Dans chaque provenance, l'échantillonnage a porté sur dix arbres distants d'au moins 100 mètres, sélectionnés par leur production de glands et leur état sanitaire et qui ont fait l'objet de récolte d'un total de 1000 glands.

Les glands ont été séparés dans un premier temps par provenance, puis nettoyés et triés par test de flottation à l'eau ordinaire, les glands non viables (flottants) ont été éliminés (Dupouey et Le Bouler, 1989).

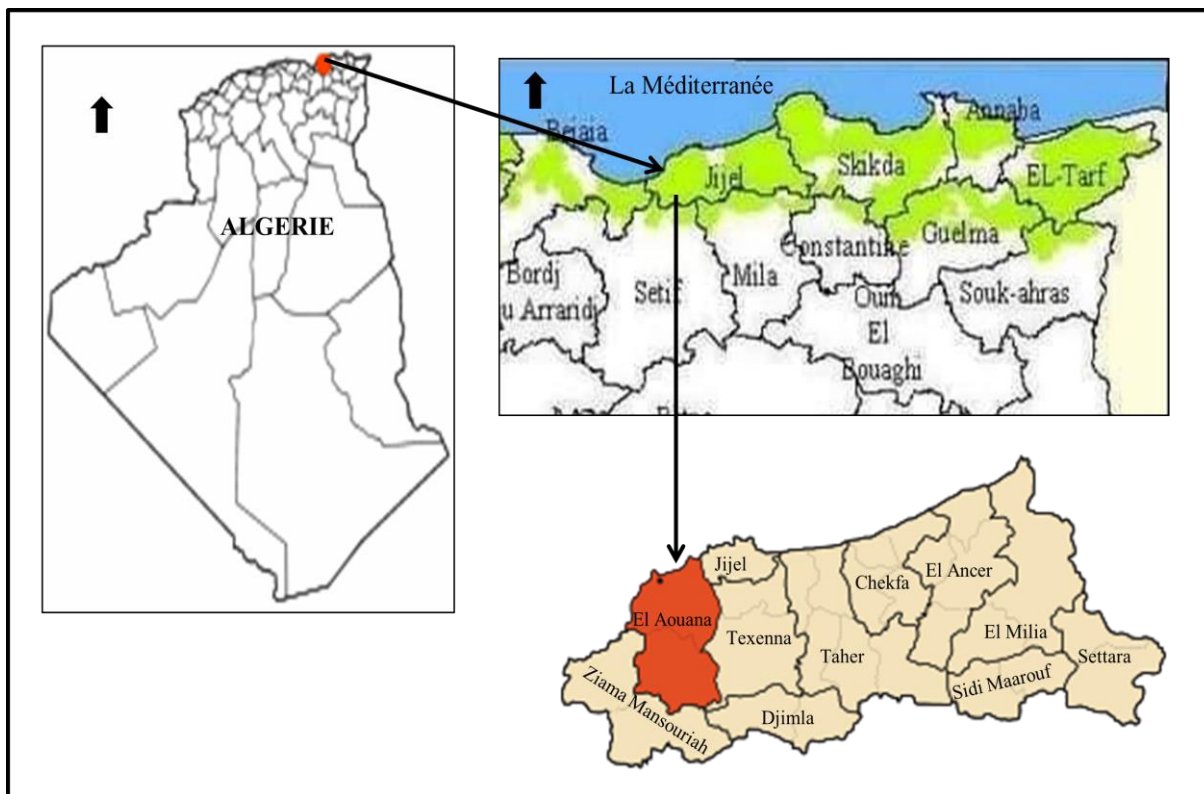


Figure 5. Situation géographique de la zone de provenance des glands de chêne-liège El Aouana (Jijel).

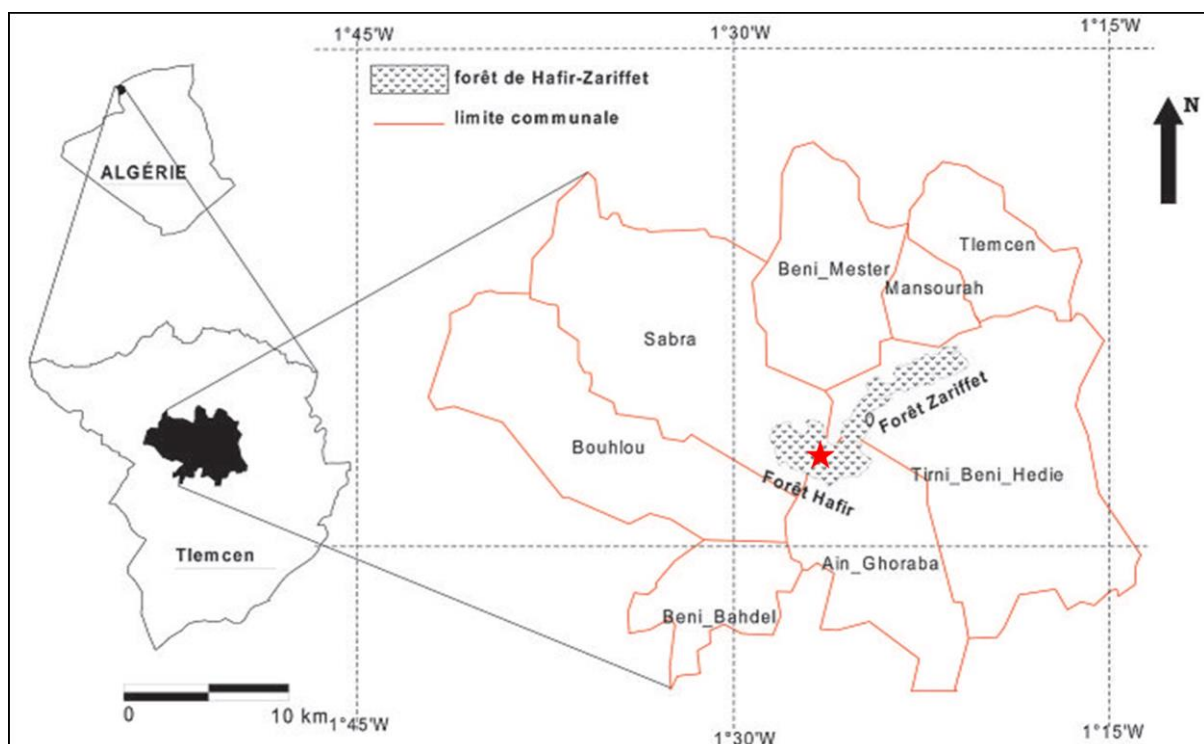


Figure 6. Cadre géographique du massif subéricole Hafir-Zarifet (Letreuch, 2002)

2.2. Outils et matériels utilisés

La récolte a été réalisée manuellement et directement sur les arbres sur pied depuis le sol ou sur les arbres sur pied après escalade, en utilisant une bâche étalée sous les branches lors de la récolte pour empêcher les glands récoltés de se mélanger à ceux déjà tombés. Les glands récoltés ont été mis dans des sacs. Chaque sac porte une étiquette sur laquelle sont portées les mentions suivantes : le nom de la provenance, la date de récolte et les coordonnées géographiques (longitude, latitude et altitude) à l'aide d'un GPS. Les mesures des caractéristiques des glands ont été effectuées à l'aide d'un pied à coulisse (IHM-1150MI) et d'une balance électronique (DENVER INSTRUMENTS SARTRUIS MXX-612 Digital) (figure 7). Des fiches ont servi pour l'enregistrement des données collectées lors de la caractérisation morphologiques. Après préparation, les glands obtenus ont été conservés dans des sacs plastiques et étiquetés pour éviter toute erreur de mélange entre les provenances testées.

Des boîtes de pétris en verre grand-format (180 mm de diamètre), papier filtre (180 mm) et une étuve obscure (MEMMERT) à température réglable, pour effectuer les essais de germination. Pour la mesure du diamètre au collet, un pied à coulisse (IHM-1150MI) a été utilisé, un mètre ruban pour la mesure de la hauteur totale et une fiche pour la collecte des données.

3. Méthodes

3.1. Caractéristiques morphologiques

Avant de procéder à la mise en germination et au semis des glands dans le substrat, la variabilité morphologique des semences issues des deux provenances a été examinée au laboratoire. Nous avons sélectionné 250 glands sains par provenance qui feront l'objet d'une étude biométrique, en mesurant les différents paramètres quantitatifs : la longueur, la largeur au centre du gland et le poids. D'autre part, on note également la nature des variables qualitatives : la forme et la couleur des glands.



Figure 7. Biométrie des glands

Selon la classification de Ramos (2003) qui consiste à mesurer le volume des glands en fonction de leurs tailles, les résultats de la variable quantitative ont été répartis en deux classes. La première est celle des glands de petite taille (GPT) dont le volume est inférieur à 3 cm³ et la seconde est celle des glands de grande taille (GGT) dont le volume est compris entre 3 et 6 cm³.

3.2. Estimation de la teneur en eau des glands

Il s'agit du taux d'humidité des glands, exprimé en pourcentage du poids. La teneur en eau a été déterminée par la méthode de l'étuve. Il s'agit fondamentalement de réduire le poids de l'échantillon par évaporation de son humidité. Un lot de 100 glands (20 glands×5 répétitions) a été constitué par provenance (figure 8). Afin de déterminer les masses fraîches (PF) des lots, les échantillons sont pesés, puis placés dans des récipients métalliques que l'on introduit dans une étuve à 103 °C pendant 17 h (ISTA, 1999), le refroidir puis le repeser pour déterminer le poids sec (PS). A partir de la différence de poids, la formule suivante $TE (\%) = \frac{PF-PS}{PF} \times 100$ a permis de calculer la teneur en eau de chaque lot.



Figure 8. Numérotation et répartition des glands en cinq groupes de 20 glands

3.3. Essais de germination des glands

Le but de ces essais était d'étudier l'effet de la taille des glands sur le taux de germination. Pour chaque provenance, les glands ont été réparti en six lots de 25 glands chacun, (03 lots de 25 glands chacun de petite taille (GPT) et 03 lots de 25 glands chacun de grande taille (GGT)), ont été mis séparément dans des boîtes de pétri en verre tapissées d'une double couche de papier filtre humidifié jusqu'à saturation par l'eau distillée, puis placés dans une étuve obscure réglée à une température de 25 °C pendant 28 jours. Le comptage des glands germés a été effectué tous les jours. Un gland est considéré comme germé lorsque la radicule perce les enveloppes et manifeste son géotropisme positif (Merouani et al, 2000).

Pour les deux catégories de glands (GGT et GPT), les paramètres de germination mesurés sont : le temps de latence TL (jours), le temps moyen de germination de 50% des glands (jours), le taux moyen de germination en temps moyen (T50%), la vitesse de germination et le taux de germination final (%), calculée suivant la formule :

$$TG (\%) = \frac{NGG}{NTGS} \times 100$$

Dont :

NGG = Nombre de Glands Germés ;

NTGS = Nombre Total de Glands mis en germination.

3.4. Croissance des plantules

La conduite de l'expérimentation a été effectuée sous une serre au niveau de la pépinière de la conservation des forêts de la wilaya de Tlemcen. Les glands sont semés à une profondeur égale à deux fois leur volume dans des conteneurs WM en polyéthylène (17 × 8 cm) contenant du terreau comme substrat de culture. Deux répétitions de 30 glands ont été utilisées pour chaque classe de taille (petite et grande). L'arrosage a été effectué tous les deux jours à l'aide d'un arrosoir de jardinier et se répète selon les besoins. Aucune fertilisation n'a été apportée aux jeunes semis. L'évaluation de la croissance a eu lieu une fois par semaine pendant 06 mois, soit 180 jours après semis pour les deux provenances. Les paramètres mesurés sont la hauteur totale, le diamètre au collet et le nombre de feuilles par plant.

3.5. Traitement des données

Les valeurs de chaque variable quantitative mesurée par provenance, sont saisies dans un tableau Excel, qui a servi au calcul des moyennes. La méthode d'analyse de variance

ANOVA à un facteur est utilisée pour l'analyse statistique de l'ensemble des paramètres étudiés à l'aide du logiciel R.

Pour une meilleure analyse des données, nous avons calculé les moyennes des caractéristiques morphométriques des glands par provenance. Pour l'étude de l'effet de la taille des glands sur la germination, la moyenne du pourcentage des glands germés par catégorie et par provenance est calculée. Pour ce qui concerne l'étude de la croissance en hauteur, en diamètre et le nombre de feuilles par plant, nous avons également calculé les moyennes des observations par plantule et par provenance. En outre, pour soutenir les analyses statistiques, des graphiques d'illustrations ont été construits à partir du logiciel Excel. Dans le cas où l'effet du facteur étudié est significatif, la structuration des moyennes est faite à l'aide du test de *Tukey* au seuil de probabilité de 5% en utilisant le logiciel R.

4. Résultats

4.1. Caractéristiques morphométriques des glands

L'analyse du tableau 3, montre que la taille des glands est un facteur très variable d'un pied à un autre et parfois pour des glands pris sur le même arbre. Leur taille augmente au cours de leur développement pour atteindre une valeur moyenne comprise entre 32,12 et 35,74 mm de longueur et entre 15,40 et 16,70 mm de largeur pour les deux provenances Hafir (Tlemcen) et El Aouana (Jijel) respectivement, avec une tendance de croissance en longueur deux fois plus qu'en largeur, ce qui donne la forme allongée des glands. Pratiquement lié à leur taille, le poids des glands de chêne-liège est également variable d'un pied à un autre. Il croît dans un premier temps puis atteint un poids moyen variant entre 4,96 et 6,69 g, ce qui donne un nombre moyen de 150 et 202 glands par kilogramme pour ceux issus de Hafir et El Aouana respectivement.

Ces résultats montrent aussi que les deux lots de glands ont d'autres formes distinctes allant de la forme arrondie sphérique et allongée à la forme sub-cylindrique. Au cours de leur évolution, les glands de chêne-liège ont connu divers changements de teinte pour atteindre à une couleur brune à maturité.

Tableau 3. Caractéristiques biométriques des glands de chêne-liège provenant d'El Aouana –Jijel et Hafir -Tlemcen

<i>Provenances</i>		<i>Biométrie</i>			<i>NG/K g</i>	<i>Formes</i>	<i>Couleur</i>
		<i>Longueur (mm)</i>	<i>Largeur (mm)</i>	<i>Poids (g)</i>			
<i>El Aouana - Jijel</i>	Maxi	47,00	21,20	12,76	150	Arrondie- Sphérique Allongée Sub-cylindrique	Brune
	Mini	23,50	11,10	02,92			
	Moyenne	35,74	16,70	06,69			
	Ecart-type	04,09	02,25	02,18			
<i>Hafir - Tlemcen</i>	Maxi	43,50	20,60	09,52	202	Arrondie- Sphérique Allongée Sub-cylindrique	Brune
	Mini	16,70	12,30	01,25			
	Moyenne	32,12	15,40	04,96			
	Ecart-type	04,28	01,64	01,53			

4.2. Mise en évidence des différences entre les provenances

4.2.1. Longueur des glands

L'analyse de variance pour la variable longueur des glands, a révélé une différence hautement significative ($P=0,003$) entre les deux provenances étudiées. La comparaison des valeurs pour cette variable, a permis de distinguer 5 classes de longueur pour les deux origines des glands avec une même amplitude (largeur des classes) de 5 mm (tableau 4). Les glands les plus longs ($47\pm 4,09$ mm) sont observés chez la provenance d'El Aouana-Jijel. Les plus faibles longueurs ($16,70\pm 4,28$ mm) sont enregistrées chez les glands provenant de Hafir-Tlemcen. Pour les différentes classes, nous avons constaté un nombre de glands différents, avec un taux de 43 et 46% concentré autour de la moyenne dans la classe 3, pour la provenance d'El Aouana-Jijel et de Hafir-Tlemcen respectivement.

Tableau 4. Répartition des glands par classe de longueur chez les deux provenances étudiées (El Aouana-Jijel et Hafir-Tlemcen).

<i>Classes</i>	<i>El Aouana-Jijel</i>			<i>Hafir-Tlemcen</i>		
	<i>Longueur (mm)</i>	<i>Effectifs</i>	<i>Pourcentage (%)</i>	<i>Longueur (mm)</i>	<i>Effectifs</i>	<i>Pourcentage (%)</i>
<i>1</i>	[23,5-28,5[	10	04,00	[21,7-26,7[	35	14,00
<i>2</i>	[28,5-33,5[	62	24,80	[26,7-31,7[	70	28,00
<i>3</i>	[33,5-38,5[	108	43,20	[31,7-36,7[	116	46,40
<i>4</i>	[38,5-43,5[	65	26,00	[36,7-41,7[	27	10,80
<i>5</i>	[43,5-48,5[	05	02,00	[41,7-46,7[	02	00,80
<i>Total</i>	05	250	100	05	250	100

4.2.2. Largeur des glands

Les résultats résumés dans le tableau 5, montrent que, quel que soit la provenance, la comparaison des valeurs de la variable largeur des glands a permis d'obtenir deux classes seulement en utilisant la même amplitude 5 mm comme pour la longueur. L'analyse de variance pour cette variable, a révélé une différence très hautement significative entre les provenances testées ($P < 0,000$). Les glands issus de la forêt d'El Aouana (Jijel) ayant une largeur moyenne de $16,70 \pm 2,25$ mm, avec 60% des glands groupés dans la deuxième classe. Toutefois, les glands issus de Hafir (Tlemcen), présentent une largeur moyenne de $15,40 \pm 1,64$ mm, avec plus de 87% des glands composant la première classe (tableau 5).

Tableau 5. Répartition des glands par classe de largeur chez les deux provenances étudiées (El Aouana-Jijel et Hafir-Tlemcen).

Classes	<i>El Aouana-Jijel</i>			<i>Hafir-Tlemcen</i>		
	<i>Largeur (mm)</i>	<i>Effectifs</i>	<i>Pourcentage (%)</i>	<i>Largeur (mm)</i>	<i>Effectifs</i>	<i>Pourcentage (%)</i>
<i>1</i>	[11,1-16,1[	100	40,00	[12,3-17,3[	218	87,20
<i>2</i>	[16,1-21,1[	150	60,00	[17,3-22,3[	32	12,80
<i>Total</i>	02	250	100	02	250	100

4.2.3. Poids des glands

L'analyse de variance pour la variable poids des glands, a révélé une différence très hautement significative entre les deux provenances ($P < 0,000$). Pour déterminer le nombre de classes du poids nous avons utilisé la règle de Sturges (1926) où le nombre de classe = $1 + 3.33 \log(N)$, dont N représente la taille de l'échantillon testé. La comparaison des valeurs de cette variable a donné 9 classes chez les glands provenant de Jijel et 8 classes pour ceux issus de Tlemcen avec une même amplitude de 1.1 g (tableau 6). La provenance d'El Aouana se révèle être la provenance ayant les glands les plus lourds $06,69 \pm 2,18$ g tandis que les plus légers glands sont enregistrés chez la provenance de Hafir $04,96 \pm 1,53$ g.

Tableau 6. Répartition des glands par classe de poids chez les deux provenances étudiées (El Aouana-Jijel et Hafir-Tlemcen).

Classes	<i>El Aouana-Jijel</i>			<i>Hafir-Tlemcen</i>		
	Poids (g)	Effectifs	Pourcentage (%)	Poids (g)	Effectifs	Pourcentage (%)
1	[2,92-4,02[	28	11,20	[1,25-2,35[	04	01,60
2	[4,02-5,12[	42	16,80	[2,35-3,45[	34	13,60
3	[5,12-6,22[	44	17,60	[3,45-4,55[	75	30,00
4	[6,22-7,32[	46	18,40	[4,55-5,65[	64	25,60
5	[7,32-8,42[	34	13,60	[5,65-6,75[	38	15,20
6	[8,42-9,52[	24	09,60	[6,75-7,85[	21	08,40
7	[9,52-10,62[	20	08,00	[7,85-8,95[	12	48,00
8	[10,62-11,72[	07	02,80	[8,95-10,05[	02	00,80
9	[11,72-12,82[	05	02,00			
Total	09	250	100	08	250	100

4.3. Taux de germination

Les résultats du pouvoir germinatif des glands des deux provenances de chêne-liège étudiées sont exprimés sous forme de graphique (figure 9). L'effet de la taille et la provenance des glands sur les taux finaux de germination après 28 jours d'essai est résumé dans la figure 9. L'analyse de cette figure n'indique aucun effet de la taille des glands sur le taux de germination et ce pour les deux provenances étudiées, Hafir et El Aouana où nous avons enregistré des taux germinatifs de 90 et 95% respectivement.

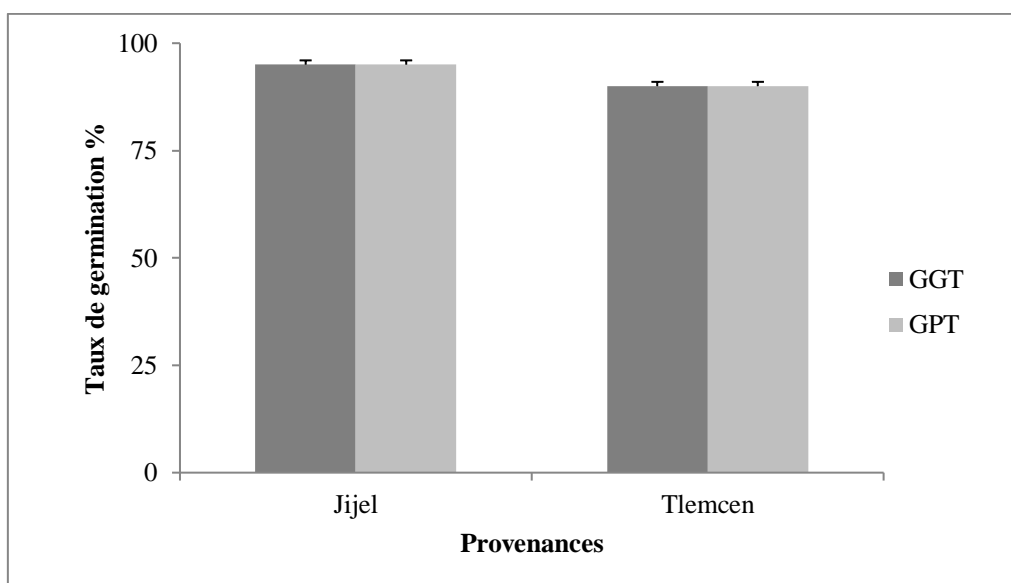


Figure 9. Taux de germination en fonction de la taille des glands de deux provenances de chêne-liège (El Aouana-Jijel et Hafir-Tlemcen). GGT : glands de grande taille, GPT : glands de petite taille

4.4. Paramètres germinatifs

Les paramètres germinatifs par provenance et par catégories de glands sont rapportés dans le tableau 7.

4.4.1. Temps de latence (TL). Les résultats de ce paramètre, qui correspond au temps compris entre le début du test de germination et le moment où le premier gland a germé, ne manifeste aucune différence significative entre les catégories des glands des deux provenances. En effet, quelque soit leur origine ou leur taille, les glands testés présentent une germination précoce, soit 48 h après leur mise en germination.

4.4.2. Temps moyen de germination (T50). C'est un paramètre très important dans le processus de germination. Il représente le temps moyen nécessaire à la germination de 50% des glands. Appelé aussi la durée médiane de germination (T50). A une température de 25°C et après une courte latence de 2 jours, les germinations se produisent rapidement. À partir du tableau 7, on constate que plus de 50 % des glands de petites tailles (GPT) et de grandes tailles (GGT) provenant d'El Aouana germent au bout de 6 et 7 jours respectivement, par contre, les 50% de GPT et de GGT d'origine de Hafir germent au bout de 7 à 8 jours respectivement.

4.4.3. Taux moyen de germination en temps moyen (T50%). Ce paramètre permet d'avoir une idée sur l'évolution des pourcentages des glands germés dans un délai égale à la moitié de la durée de germination. Après une analyse des résultats du tableau 7, il se trouve que ce paramètre manifeste une différence significative entre les deux lots de glands (GGT/GPT) de la même provenance et entre les deux provenances testées. En effet, pour une durée de 14 jours, les taux moyens de germination enregistrés chez les glands de grandes (GGT) et de petites tailles (GPT) sont respectivement 90 et 77,5% pour la provenance d'El Aouana et 40 et 66,6% pour ceux issus de Hafir.

Tableau 7. Paramètres germinatifs des glands de chêne-liège par provenance et par taille.
(GGT : glands de grande taille ; GPT : glands de petite taille).

Paramètres germinatifs		Taux de germination final (%)	Temps de latence TL (jours)	Temps moyen (jours) de germination de 50% des glands	Durée de la germination (jours)	Taux moyen de germination en temps moyen (T50%)	Vitesse de germination Gland/Jour
<i>Provenances</i>							
<i>El Aouana-Jijel</i>	<i>GGT</i>	95	02	07	14	90	07
	<i>GPT</i>	95	02	06	12	77,5	08
<i>Hafir-Tlemcen</i>	<i>GGT</i>	90	02	08	15	40	06
	<i>GPT</i>	90	02	07	16	66,6	07

4.3. Croissance des plantules

4.3.1. Hauteur des tiges

Pour le paramètre hauteur, l'analyse de la figure 10, montre clairement qu'après 06 mois de culture dans le substrat (terreau), la longueur des jeunes plants de chêne-liège présente une variation en fonction de la provenance et de la taille des glands. En effet, les meilleurs résultats ont été obtenus chez les plantules issues des glands de grande taille d'El Aouana (figure 11) avec une croissance moyenne en hauteur de 39,68 cm, comparativement avec ceux de la classe de petite taille de la même provenance qui enregistrent 30,53 cm. Pour les jeunes semis provenant de Hafir, la croissance en longueur est lente comparativement à ceux issus de Jijel. Nous avons enregistré des valeurs de 29,3 et 26,17 cm, respectivement pour les semis issus de glands de grandes et petites tailles.

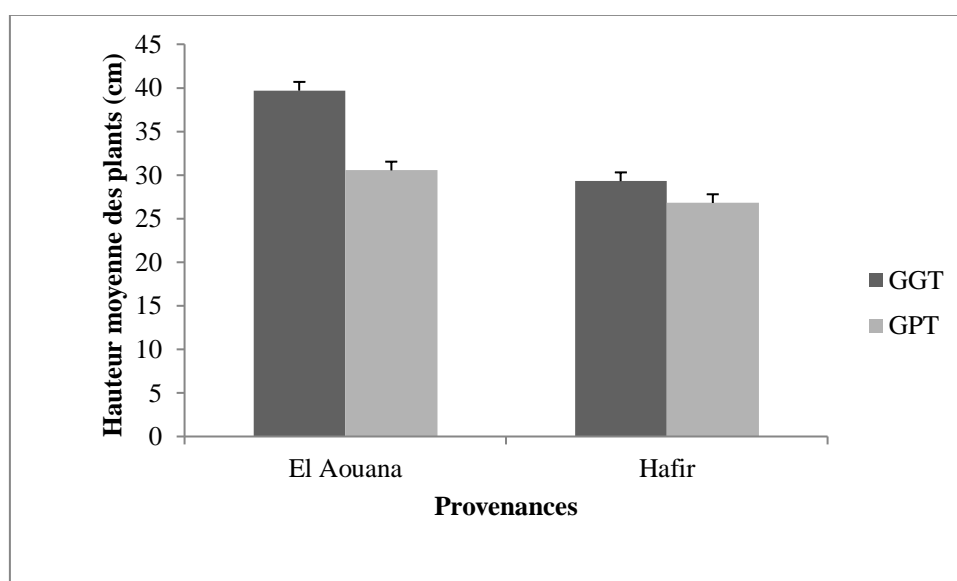


Figure 10. Hauteur moyenne des plants de chêne-liège, en fonction de la provenance des glands et leur taille (GGT : glands de grandes tailles ; GPT : glands de petites tailles).



Figure 11. Aspect morphologique des plants de chêne-liège provenant d'El Aouana-Jijel après 6 mois d'élevage en pépinière. Notez la bonne croissance en hauteur des plants issus de glands de grande taille (A) comparativement à ceux provenant de glands de petite taille (B). (Hauteur des caisses 21 cm donne l'échelle des plants)

4.3.2. Diamètre au collet, quotient H/D et nombre de feuille par plant

Les résultats illustrés dans le tableau 8, montrent l'effet de la provenance des glands et leur taille sur la croissance radiale des plants. En effet, pour les deux provenances étudiées, le meilleur diamètre au collet a été enregistré chez les plants issus de glands de grande taille. Toutefois, cette différence de croissance en diamètre, que ce soit pour la classe des glands ou leur provenance, reste non significative. Également pour le rapport H/D, aucune différence significative inter et intraprovenance n'a été enregistrée, et ce quelque soit la taille des glands testés.

La feuille est un organe essentiel dans la vie des végétaux. Un nombre important des feuilles indiquent une activité physiologique importante (photosynthèse, respiration et transpiration) chez la plante. Ce paramètre, présente une variation significative entre les deux provenances pour la même catégorie de glands testés. Les valeurs obtenues varient de 12,13 à 23,60 feuilles /plant, chez les glands de grande taille (GGT) et de 11,80 à 17,50 feuilles/plant chez ceux de petite taille (GPT), provenant de de Tlemcen et Jijel respectivement.

Tableau 8. Diamètre au collet, rapport H/D et nombre de feuilles par plant de chêne-liège, en fonction de la provenance des glands et leur taille (*GGT* : glands de grande taille ; *GPT* : glands de petite taille).

<i>Paramètres mesurés</i>		<i>Diamètre au collet (mm)</i>	<i>Rapport H/D</i>	<i>Nombre de feuilles/Plant</i>
<i>Provenances</i>				
<i>Al Aouana-Jijel</i>	<i>GGT</i>	07,00	05,66	23,60
	<i>GPT</i>	05,80	05,26	17,50
<i>Hafir-Tlemcen</i>	<i>GGT</i>	05,86	05,00	12,13
	<i>GPT</i>	05,21	05,14	11,80

5. Discussion

Les résultats obtenus au cours de cette étude montrent que les glands de chêne-liège présentent des variations inter et intraprovenance, pour les variables quantitatives étudiées : longueur, largeur et poids. Ces résultats corroborent avec ceux obtenus par Bouchaour-Djabeur (2011) sur la même espèce, de Diallo et al. (2010) qui ont mis en évidence l'existence d'une variabilité de la morphologie des graines de provenances internationales de *Tamarindus indica* et d'une espèce agroforestière comme *Prunus africana*. De plus, les travaux d'Ouédraogo (1995) ont montré une variabilité de l'épaisseur de la graine de néré en fonction de la longueur. En plus des facteurs environnementaux, les facteurs génétiques pourraient être à l'origine de la variabilité observée chez les glands de *Quercus suber*.

Concernant les variables qualitatives, les résultats enregistrés montrent que les glands ont subi plusieurs changements de couleur au cours de leur développement. Ces changements de teinte vont de la couleur verte à la brune. La couleur des fruits est une méthode de terrain utilisée pour apprécier la maturité des fruits et pour déterminer la période propice à la récolte. Selon la FAO (1992), les changements de couleur des fruits constituent un critère simple et, chez certaines espèces, valable pour juger de la maturité des graines, si l'observateur connaît bien les caractéristiques de l'essence considérée. Ainsi, les glands utilisés ont des tailles et des formes distinctes allant de la forme allongée, arrondie sphérique à la forme sub-cylindrique confirmant ceux aperçus par Hasnaoui (1992), Bouhraoua (2003) et Bouchaour-Djabeur et al. (2011 et 2021).

Par ailleurs, l'étude biométrique nous a permis la répartition des 250 glands testés pour chaque provenance en 05 classes de longueur, 02 classes de largeur et 09 et 08 classes de poids pour la provenance de Jijel et celle de Tlemcen respectivement, avec des effectifs différents pour chaque classe. Ensuite, suivant la classification de Ramos (2003), les glands

ont été répartis selon leur volume en deux classes. La première est celle des glands de petite taille (GPT) dont le volume est inférieur à 3 cm³ alors que la seconde classe est composée de glands de grande taille (GGT) dont le volume est compris entre 3 et 6 cm³.

D'un autre côté, nous n'avons constaté aucun effet significatif de la taille des glands sur le taux de germination final. En effet, le même taux germinatif a été enregistré chez les glands de grande taille et ceux de petite taille (90 et 95%) respectivement pour la provenance de Hafir et celle d'El Aouana. Toutefois, Mercier et Rainville (1996), aient soulevé, l'effet de la morphologie des glands sur la germination de chêne rouge. Chaussat et Chapon (1981), ont mis en évidence une relation directe entre le poids de la graine et sa vitesse de germination pour différentes espèces du genre *Triticum*. Les taux de germination que nous avons enregistrés restent importants que ceux signalés par Cemagref (1983) qui considère que le taux de germination est satisfaisant à partir de 85%. Nos résultats se concordent avec ceux de Merouani et al (2011) et Sarir et Benmahioul (2017), qui ont obtenus un taux de germination pour la même espèce étudiée de 92 et 100% respectivement. L'analyse de la variance pour le taux de germination a révélé une différence significative entre les deux provenances étudiées. Cela peut être expliqué par l'existence de différence génétique entre les provenances, ou peut-être dû à des caractères adaptatifs corrélés aux conditions bioclimatiques locales (Zine Abidine et al. 1999).

D'autre part, à l'exception du temps de latence qui est le même (02 jours) quelque soit la provenance et la catégorie des glands testée, les autres paramètres germinatifs présentent des variations inter et intraprovenance qui sont parfois significatives. Dans ce sens, Côme (1993) et Crosaz (1995) ont prouvé que la taille ou le poids des semences sont considérés parmi les facteurs qui peuvent avoir une influence sur la qualité germinative des semences.

Les caractéristiques de la croissance des plantules telles que la hauteur, le diamètre au collet et l'organogénèse foliaire, sont souvent utilisés comme un critère d'appréciation de la qualité des plants. L'analyse de variance pour la hauteur des semis a révélé une différence significative entre les deux types de glands de la provenance l'El Aouana et entre les deux origines de glands. Baker et al. (1979) ont indiqué que la croissance rapide des plantules est plus liée aux facteurs génétiques de l'arbre mère et aux facteurs environnementaux. Cependant, Mahoney et Fins (1995) ont observé en outre que la hauteur des plantules semble être sous un contrôle génétique plus fort que les autres variables de la croissance.

Concernant le diamètre au collet, les résultats montrent que les glands de grande taille (poids moyenne de 6,69 g) d'origine d'El Aouana présentent une croissance radiale importante par rapport à ceux de petite taille de la même provenance et ceux des deux classes de taille provenant de Hafir. Kafando (2016), rapporte que plus la graine de l'arbre mère *Prunus africana* est lourde, plus le diamètre au collet de la plantule sera grand. Cela s'explique par le fait que durant les premiers instants de la germination, la graine puise dans sa propre réserve pour mettre en place le système racinaire de la plantule. Pour le ratio H/D, aucun effet de la taille des glands n'a été observé et les résultats que nous avons sont proches de ceux enregistrés par Bouchaour-Djabeur et al. (2011), El Boukhari et al. (2013) et Zine El Abidine et al. (2016) sur la croissance et le développement des semis de chêne-liège.

En ce qui concerne l'organogénèse foliaire, nos résultats ont montré l'influence de ce paramètre de croissance par la taille des glands utilisés. En effet, une différence de 6 à 11 feuilles par plant a été enregistrée entre la provenance de Tlemcen et celle de Jijel chez les glands de petite taille (GPT) et ceux de grande taille (GGT) respectivement. Aussenac et al. (1988) ont signalé que les possibilités de développement et de croissance des jeunes plants sont contrôlées par de nombreuses caractéristiques morphologiques et physiologiques. Kafando (2016) a observé que les plantules de *Prunus africana* qui présentaient une croissance rapide en hauteur avaient une augmentation du nombre de feuilles.

6. Conclusion

Le chêne-liège est une espèce forestière intéressante qui présente plusieurs avantages sur le plan économique, social, environnemental et écologique. Par ailleurs, les subéraies sont en état de dégradation à cause de différents facteurs biotiques et abiotiques qui ne cessent de s'intensifier. Devant cette situation, il est nécessaire d'établir des stratégies pour préserver et assurer la pérennité de cette espèce. La présente étude a investigué sur la variabilité morphologique des glands, leur germination et la croissance des plantules en pépinière de deux provenances différentes afin de contribuer à une meilleure connaissance de la variabilité génétique de chêne-liège. De façon générale, l'étude de la variabilité morphologique des glands (longueur, largeur et poids) et les caractéristiques de croissance des jeunes semis (croissance en hauteur, diamètre au collet et l'organogénèse foliaire), ont fait ressortir l'existence d'une importante variabilité entre deux provenances étudiées.

L'examen de la germination des glands de *Q. suber* a montré un taux de germination intéressant (90 à 95%) pour les deux catégories de glands testés issues de Jijel et Tlemcen.

Quant à l'analyse de la croissance en pépinière, il a révélé une variation de la hauteur moyenne de la croissance radiale des tiges et du nombre moyen de feuilles par plant de chêne-liège.

Les résultats de cette étude pourraient servir à l'amélioration du processus germinatif et la gestion des banques de semences de chêne-liège. En outre, la poursuite des études relatives à la croissance des plants issus de différentes provenances, permettrait de disposer d'informations suffisantes pour une meilleure sélection de génotypes les plus performants.

CHAPITRE III. EFFET DES SUBSTRATS SUR LA LEVEE, LA CROISSANCE ET LE DEVELOPPEMENT DES JEUNES PLANTS PRODUITS EN PEPINIERE

Chapitre III. Effet des substrats sur la levée, la croissance et le développement des jeunes plants produits en pépinière.

Résumé

Cette expérimentation conduite dans la pépinière de la conservation des Forêts de Tlemcen, vise à évaluer l'effet des substrats (purs ou en mélange) sur le comportement des jeunes semis de chêne-liège issus de deux provenances, El Aouana-Jijel et Hafir-Tlemcen. Pour cela, cinq substrats culturaux (S1) sable, (S2) terre végétale, (S3) terreau, (S4) 1/2 sable + 1/2 terre végétale et (S5) 1/3 sable + 1/3 terre végétale + 1/3 terreau, ont constitué le milieu de culture.

Les paramètres étudiés ont été les taux de levée et de mortalité, la hauteur moyenne des plants, le diamètre moyen au collet, le rapport hauteur de la tige/diamètre au collet (H/D), le nombre moyen de feuilles par plant et la longueur, la largeur des feuilles et la surface foliaire.

Les résultats obtenus après 16 mois d'élevage en pépinière, ont montré des taux de levé moyens de 91,4 et 76,6% et des taux de mortalité moyens de 8,4 et 23,4% pour la provenance d'El Aouana et celle de Hafir respectivement. En ce qui concerne la croissance, les meilleurs résultats ont été obtenus avec le substrat terreau (S3) et ce pour l'ensemble des paramètres étudiés. Les rendements les plus faibles ont été enregistrés chez les plants élevés sur le sable seul (S1).

Mots clés : Chêne-liège, substrats, taux de levée, mortalité, croissance, provenances, pépinière.

1. Introduction

Le problème de la régénération du chêne-liège s'est posé aux forestiers dès 1930 (Marion, 1955). La régénération naturelle par semence ne se produit pas toutes les années. Elle est dépendante des années de bonne fructification, de la bonne densité et de la bonne distribution spatiale du peuplement (Varela et Piazzetta, 2014 ; El Antry et Piazzetta, 2014). En plus, le stock de glands, source principale de repeuplement, subit de grandes pertes au sol et sur l'arbre, dues aux multiples prédateurs : sangliers, cerfs, rongeurs, oiseaux, insectes ainsi que l'homme et ses animaux qui sont très actifs et agissent tant au niveau des glands que des jeunes semis. A cela, il faut ajouter les faibles glandés et leur irrégularité (Nsibi, 2005). Pour pallier à ces difficultés, la régénération artificielle est une alternative intéressante.

La production de plant forestier qui présente des caractéristiques biologiques et physiologiques requises pour assurer leur survie et leur croissance après transplantation, constitue une étape essentielle pour la réussite des programmes de reboisement (Ammari et al. 2006). De nombreux chercheurs se sont intéressés à la production des substrats de culture qui répondent aux exigences du plant forestier et lui donnent la capacité de résister au stress de transplantation (Landis, 1990 ; Miller et Jones, 1995 ; Benmahiou et al. 2010 ; M'sadak et al. 2012). La préparation du substrat se pose encore dans la plupart de nos pépinières forestières, du fait que nous continuons à utiliser des mélanges traditionnels à base de terre et de sable de mauvaise qualité physico-chimique.

Dans ce contexte les objectifs de cette étude étaient (i) d'évaluer l'effet des substrats utilisés sur la levée des semis de chêne-liège et (ii) d'examiner si le substrat testé a un effet sur les performances des semis, notamment leur croissance. Nous avons émis l'hypothèse que (i) le substrat terreau est plus favorable à la levée que les autres substrats étudiés et (ii) la croissance de semis en pépinière est conditionnée par la nature du substrat utilisé.

2. Matériel et Méthodes

2.1. Matériel végétal

Des glands ont été recueillis à la main en fin novembre 2017. Nous avons sélectionné 10 arbres en bonne santé situés de manière adjacente avec des modèles de croissance similaires (par exemple, hauteur, diamètre et couvert), pour la collecte des graines en saison de fructification sur deux peuplements naturels de chênes-lièges, situés dans deux régions géographiques distinctes :

- La forêt domaniale de Hafir (9872 ha, 1000 à 1418 m d'altitude), est localisée dans la zone centrale de la wilaya de Tlemcen (Ouest Algérien) sur un grand massif étiré de l'Est en Ouest, entre 34°48'N et 1°25'E.
- La forêt domaniale d'El-Aouana, canton Aghzar (Est de l'Algérie), constituée principalement d'un peuplement bien venant de chêne-liège, situé à proximité du littoral à 30 m d'altitude, entre 36°45'29,11''N et 05°39'57,60''E.

Les glands morphologiquement matures et sains (non endommagés par les vers et les insectes) ont été sélectionnés, nettoyés et triés par un test de flottaison à l'eau ordinaire, puis placés dans des sacs en plastique pour être stockés au réfrigérateur à $+ 3^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, pour empêcher la germination jusqu'à utilisation.

2.2. Substrat de culture

Selon, Blanc (1987), le terme de substrat en agriculture s'applique à tous matériaux naturel ou artificiel qui placé en conteneur pur ou en mélange permet l'encrage du système racinaire et joue ainsi vis-à-vis de la plante, le rôle de support. Pour examiner les effets des milieux de cultures sur la levée et le développement des plantules, cinq substrats différents ont été utilisés. Trois substrats purs ; le sable (S1), la terre végétale (S2), le terreau (S3) et deux mélanges : le premier est composé de 1/2 sable et de 1/2 terre végétale (S4) et le second constitué de trois substrats : 1/3 sable, 1/3 terre végétale et 1/3 terreau (S5). Ces substrats ont été choisis car ils sont largement utilisés pour la production de plantules de nombreuses espèces fruitières et forestières (Piva et al. 2013).

2.3. Les conteneurs

Le choix du conteneur est un facteur déterminant pour produire un plant de qualité. Dans cette étude, nous avons utilisé le conteneur WM, qui remplace le sachet polyéthylène traditionnellement utilisés dans les pépinières. Il est sans fond, constitué de deux pièces rigides en polyéthylène emboîtables pliées sous la forme de la lettre alphabétique W ou M (figure 12). Il est caractérisé par : une hauteur de 17 cm, une longueur de 08 cm, une largeur de 05 cm, un poids de 22 g et un volume de 400 cm³ (Riedacker, 1986). Contrairement au sachet non recyclable et non biodégradable, ces conteneurs sont réutilisables et ont une durée de vie qui peut dépasser 10 ans. La forme de ces conteneurs leur permet de s'emboîter les uns dans les autres, ce qui diminue l'espace d'entreposage (Laala et Maameche, 2002).

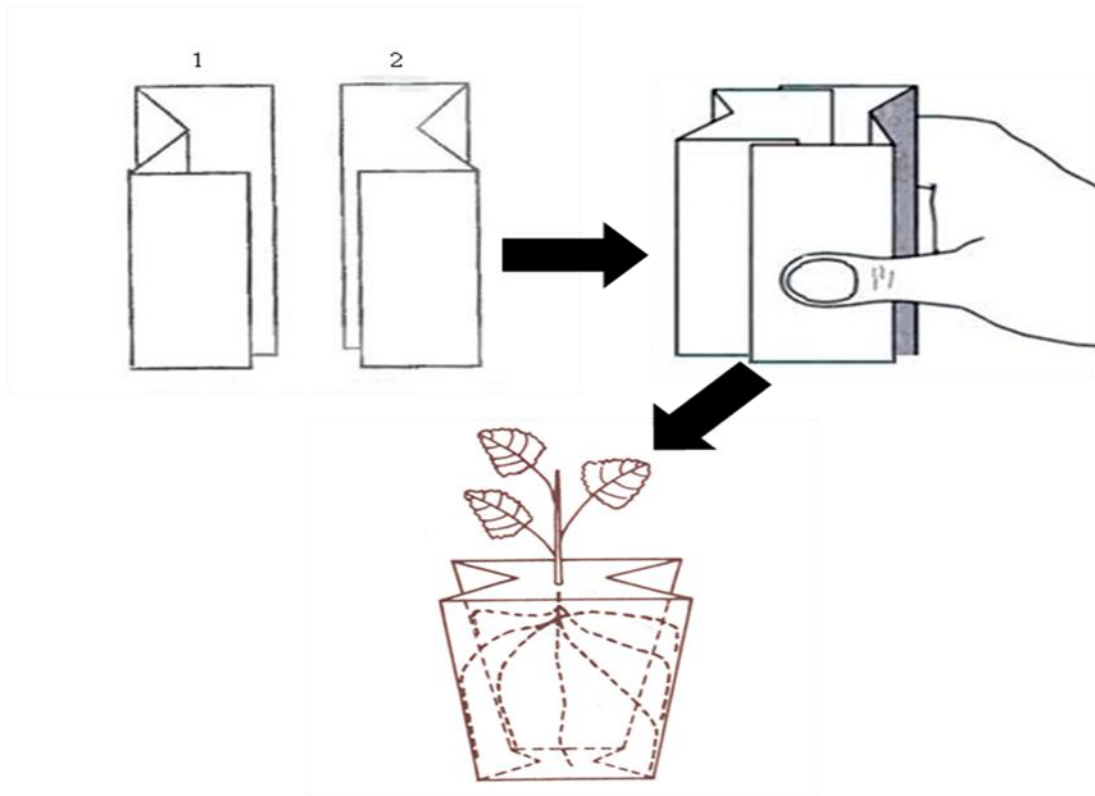


Figure 12. Conteneur WM de Riedacker

3. Méthodes

3.1. Conditions de l'expérience

Notre expérimentation a été menée au niveau de la pépinière de la conservation des forêts de la wilaya de Tlemcen. Dans une serre adossée sur muret en acier et en verre dont l'orientation est Est-Ouest, aérée grâce à des fenêtres placées latéralement de part et d'autre et chauffée en hiver par des équipements de chauffage permettent de mieux gérer la croissance des plantes.

Pour suivre la levée, des glands frais (3 à 5 jours de leur récolte) ont été mis en culture, sans aucun prétraitement, à raison de 1 gland par conteneur WM en polyéthylène. Deux répétitions de 30 glands, soit 60 glands/substrat, au total 600 glands utilisés dans cette expérimentation. Pour garder le substrat humide pendant que les semis poussent, l'arrosage est effectué tous les deux jours à l'aide d'un arrosoir de jardinier et répété selon les besoins. Aucune fertilisation n'a été apportée aux jeunes semis. Le comptage des plantules ayant levées a été effectué chaque semaine. Le suivi de la croissance des jeunes plantules a duré 68 semaines à une température de $18\text{ °C}/25\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ (nuit/jour).

Un gland est considéré comme levé, lorsque son coléoptile est visible à la surface du sol.

3.2. Variables mesurées

Les variables mesurées par substrat pour les deux provenances étudiées sont les suivantes : cinétique de la levée qui correspond à l'apparition d'une plantule avec deux feuilles cotylédonaire, taux moyen de levée des plants (%), taux moyen de mortalité des plants (%), hauteur moyenne des plants H (cm), diamètre moyen au collet D (mm), rapport hauteur de la tige/diamètre au collet (H/D), nombre moyen de feuilles par plant, ainsi que la longueur et la largeur des feuilles (cm) et la surface foliaire (cm²).

3.3. Analyse des données

Les valeurs moyennes des variables quantitatives mesurées ont été calculées, puis saisies pour aboutir à une base de données sous format Excel. En utilisant les logiciels Excel 2007 et R 2.2.0, les données obtenues ont été interprétées statistiquement au moyen de l'analyse de variance (ANOVA) à un facteur avec les tests de *Tukey* comme analyses de contrastes au seuil de 5%. Cette méthode permet de comparer l'effet de la variable qualitative (substrats) sur les différents paramètres étudiés pour les deux provenances testées.

4. Résultats

4.1. Taux moyen de levée des plants

La qualité de la levée est déterminante pour la réussite de la culture. Par le rapport de nombre de plants qui ont levé $\times 100$ sur le nombre des glands semés, le taux moyen de levée (%) a été déterminé à partir de la 3^{ème} semaine après le semis et s'est étalé sur plus de deux mois.

L'analyse des résultats du tableau 9, pour la variable taux moyen de levée, a révélé une différence significative entre les deux provenances étudiées ($P=0,01$). Il est de 91,4% pour les glands issus de la forêt d'El Aouana (Jijel) et de 76,6%, pour ceux de la forêt de Hafir (Tlemcen). Ce taux varie aussi selon la nature de substrat utilisé. La comparaison des moyennes des cinq substrats montre une différence non significative ($P=0,29$) pour les glands d'origine d'El Aouana, tandis que, pour ceux de Hafir une différence significative a été enregistrée ($P=0,001$). En effet, les meilleurs résultats ont été obtenus avec le substrat terreau (S3) 95% ; 90%, et le mélange des trois substrats (sable, terreau et terre végétale - S5) 93% ; 80%, pour les deux provenances respectivement. Il est à signaler qu'au-delà de la 3^{ème} semaine, la cinétique de la levée des plants de chêne-liège suit la même allure quels que soient leur origine et pour l'ensemble des substrats testés (figures 13 et 14).

Tableau 9. Effets des substrats sur les variables étudiées

<i>Provenances</i>								
<i>EL Aouana-Jijel</i>					<i>Hafir-Tlemcen</i>			
<i>Substrats</i>	<i>Taux de levée (%)</i>	<i>Taux de mortalité (%)</i>	<i>Nombre moyen de feuilles</i>	<i>Rapport H/D (cm/mm)</i>	<i>Taux de levée (%)</i>	<i>Taux de mortalité (%)</i>	<i>Nombre moyen de feuilles</i>	<i>Rapport H/D (cm/mm)</i>
<i>S1</i>	88	12	22,00	04,66	65	35	18,60	04,29
<i>S2</i>	91	09	32,00	05,46	73	27	31,70	05,52
<i>S3</i>	95	05	59,40	07,62	90	10	42,00	05,94
<i>S4</i>	90	10	46,50	06,62	75	25	37,50	05,84
<i>S5</i>	93	07	47,50	06,67	80	20	39,40	06,03

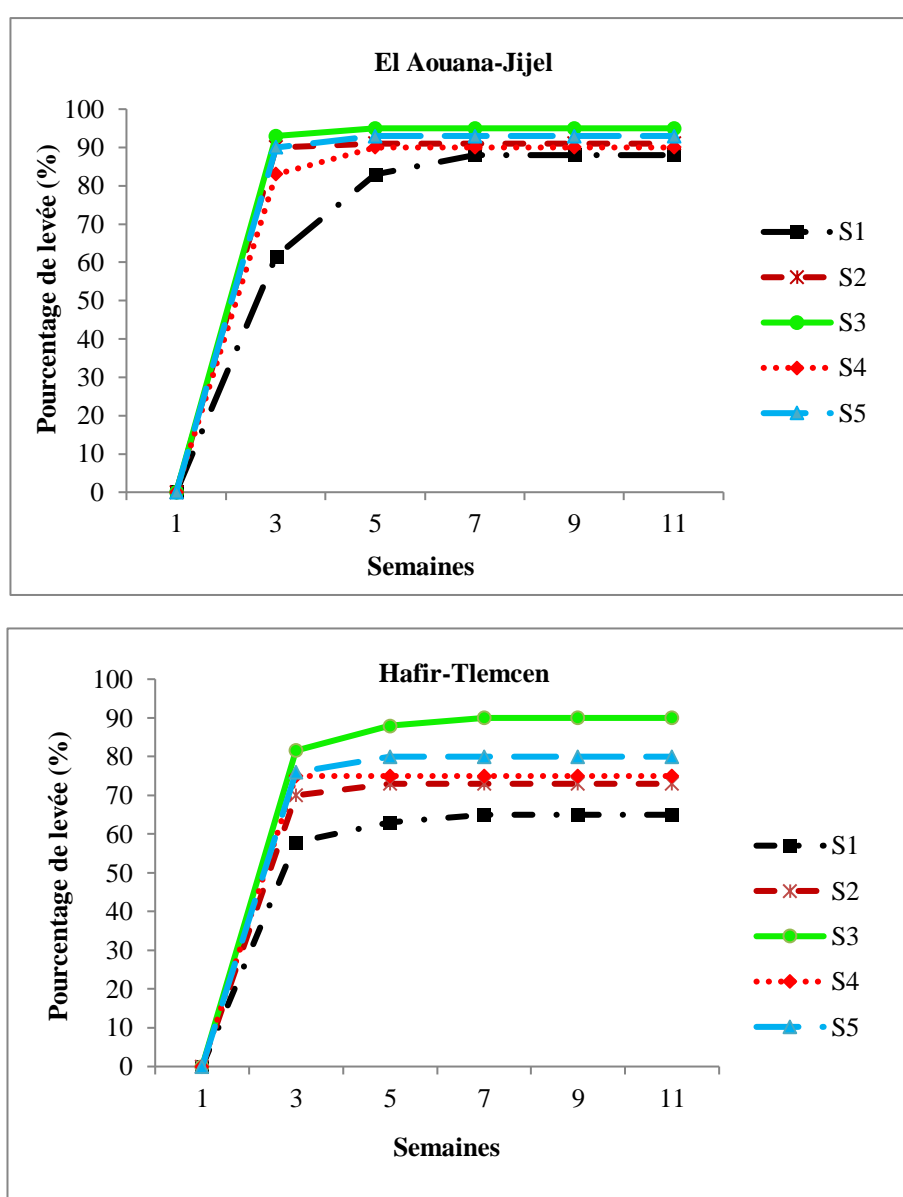


Figure 13. Cinétique de la levée des plants de chêne-liège par substrat et par provenance.

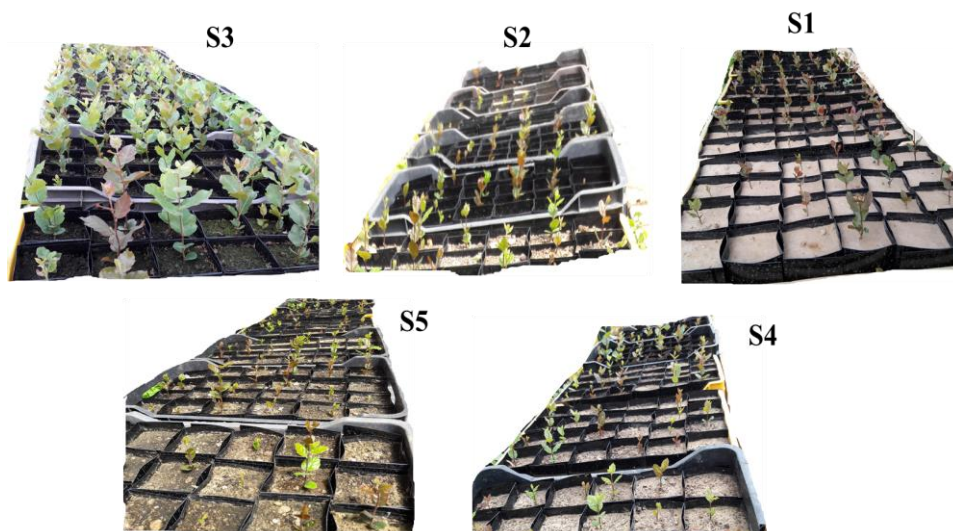


Figure 14. Levée des plants de chêne-liège sur les différents substrats testés : (S1) sable ; (S2) terre végétale ; (S3) terreau ; (S4) 1/2 sable + 1/2 terre végétale ; (S5) 1/3 sable + 1/3 terre végétale + 1/3 terreau.

4.2. Taux de mortalité des jeunes plants

Pour déterminer le taux de mortalité, les plants vivants et morts ont été dénombrés dans tous les substrats, quelque soit leur provenance. Ce paramètre a été suivi pendant 16 mois. Le taux de mortalité des plants a été déterminé par le rapport du nombre des plants morts sur le nombre total des plants émergés x 100.

L'analyse des résultats résumés dans le tableau 9, montre que les glands d'El Aouana-Jijel présentent des taux de mortalité généralement faibles et qui varient entre 5 ; 7 ; 9 ; 10 et 12% enregistrés sur les substrats S3, S5, S2, S4 et S1 respectivement avec une mortalité moyenne de l'ordre de 8,6%. Ce faible taux de mortalité s'explique par un taux de levée moyen un peu plus élevé, dépassant les 91%. Par contre, les glands provenant de Hafir-Tlemcen, ont affiché des taux de mortalité élevés, variant d'un substrat à un autre : 35% de mortalité enregistrée chez les plants levées sur sable (S1), 25 et 27% pour ceux émergés sur le mélange S4 (sable/terre végétale) et le substrat terre végétale (S2) respectivement. Le mélange du sable avec de la terre végétale et du terreau (S5) a donné un taux de mortalité de 20%. La mortalité des plants la plus faible (10%) pour la provenance Hafir a été constatée en présence du terreau (S3). La valeur moyenne de cette variable pour les cinq substrats testés a été de l'ordre de 23,4%.

4.3. Croissance en hauteur des tiges

Après seize mois de suivi de la croissance, la hauteur moyenne des plants varie selon la provenance et le substrat testé (figures 15 et 16). La hauteur la plus importante (39,05 cm) a été enregistrée chez les plants provenant d'El Aouana, élevés sur le terreau (S3). En présence du même substrat, la hauteur des jeunes plants issus de Hafir n'atteint que 24,86 cm. Pour les plants d'El Aouana et Hafir cultivés sur terre végétale (S2), la longueur des tiges a été de 20,43 et 20,28 cm respectivement. Toutefois, sur le sable seul (S1), la croissance des plants issus des deux provenances El Aouana et Hafir, a été la plus faible où nous avons enregistré respectivement 17,32 et 13,52 cm.

D'après les résultats obtenus, la croissance moyenne en hauteur des plants de chêne-liège est plus favorisée par le substrat terreau. Selon les traitements statistiques, la valeur de la variable de décision $f=20,77$, est bien supérieure de la valeur critique $f=2,49$ avec $P = 1,48 \times 10^{-11}$, bien inférieure de seuil alpha 0,05, ce qui indique un effet hautement significatif des substrats, pour la provenance d'El Aouana. Pour Hafir (la variable statistique $f=6,29$, la valeur critique de $f=2,49$), étant donné que le p-value calculé $P=0,0002$ est inférieure au niveau de signification seuil alpha 0,05, donc il existe une différence très hautement significative entre les moyennes de la variable quantitative mesuré pour les différents types de substrats utilisés.

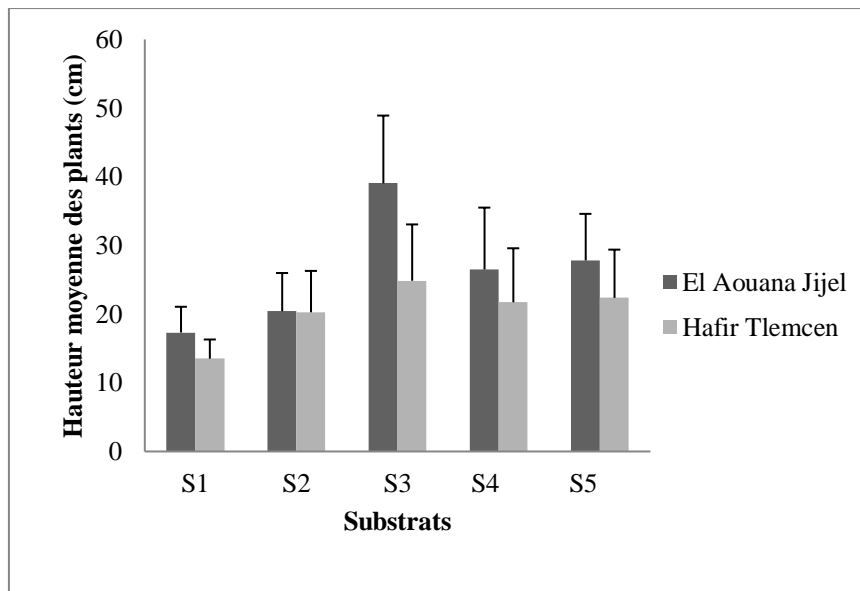


Figure 15. Hauteur moyenne des plants de chêne-liège par substrat et par provenance.



Figure 16. Plants de chêne-liège élevés en pépinière sur les différents substrats testés : (1) sable ; (2) terre végétale ; (3) terreau ; (4) 1/2 sable + 1/2 terre végétale ; (5) 1/3 sable + 1/3 terre végétale + 1/3 terreau (A) Hafir-Tlemcen ; (B) El Aouana-Jijel

L'analyse des résultats de la figure 17, montre que durant leur cycle de développement en pépinière (68 semaines), les plants de chêne-liège présentent une croissance rythmique de l'axe caulinaire caractérisée par une succession de trois phases :

- La première correspond à l'émergence et à la croissance rapide des semis, avec une durée d'environ 16 à 20 semaines. Durant cette période l'évolution de la croissance en hauteur est variable en fonction du substrat testé et en fonction la provenance étudiée. La croissance maximale en hauteur moyenne (39,88 cm) a été enregistrée chez les plants cultivés sur le substrat terreau (S3) et elle atteint respectivement 18,53 ; 19,14 ; 25,53 et 27,91 cm pour les plants d'El Aouana sur les substrats S1 ; S2 ; S4 et S5. Chez les plants de Hafir, la hauteur moyenne maximale a été de 23,85 cm sur le terreau, tandis que pour les autres substrats (S1 ; S2 ; S4 et S5), elle varie respectivement entre 14,03 ; 20,91 ; 20,64 et 21,86 cm.

- La deuxième phase est caractérisée par une croissance faible ou ralentie et d'une durée d'environ 24 semaines pour la plupart des plants issus des deux provenances sur les différents substrats testés. Seuls les plants cultivés sur le substrat sable (S1) ont enregistré une évolution stable durant le reste de leur cycle de développement.

- Une troisième phase de redémarrage de croissance, pour atteindre des hauteurs les plus élevées. En effet, les valeurs de la croissance cumulée en hauteur varient d'un substrat à un autre. Pour la provenance d'El Aouana, elles sont de 51,01 ; 44,53 ; 38,12 ; 32,44 et 19,93 cm enregistrées respectivement sur les substrats S3 ; S4 ; S5 ; S2 et S1. Quant à la provenance de Hafir, sur les mêmes substrats, la croissance cumulée en hauteur a été de l'ordre de 41,86 cm (S3), 38,58 cm (S4), 33,91 cm (S5), 30,44 cm (S2) et 16,22 cm (S1).

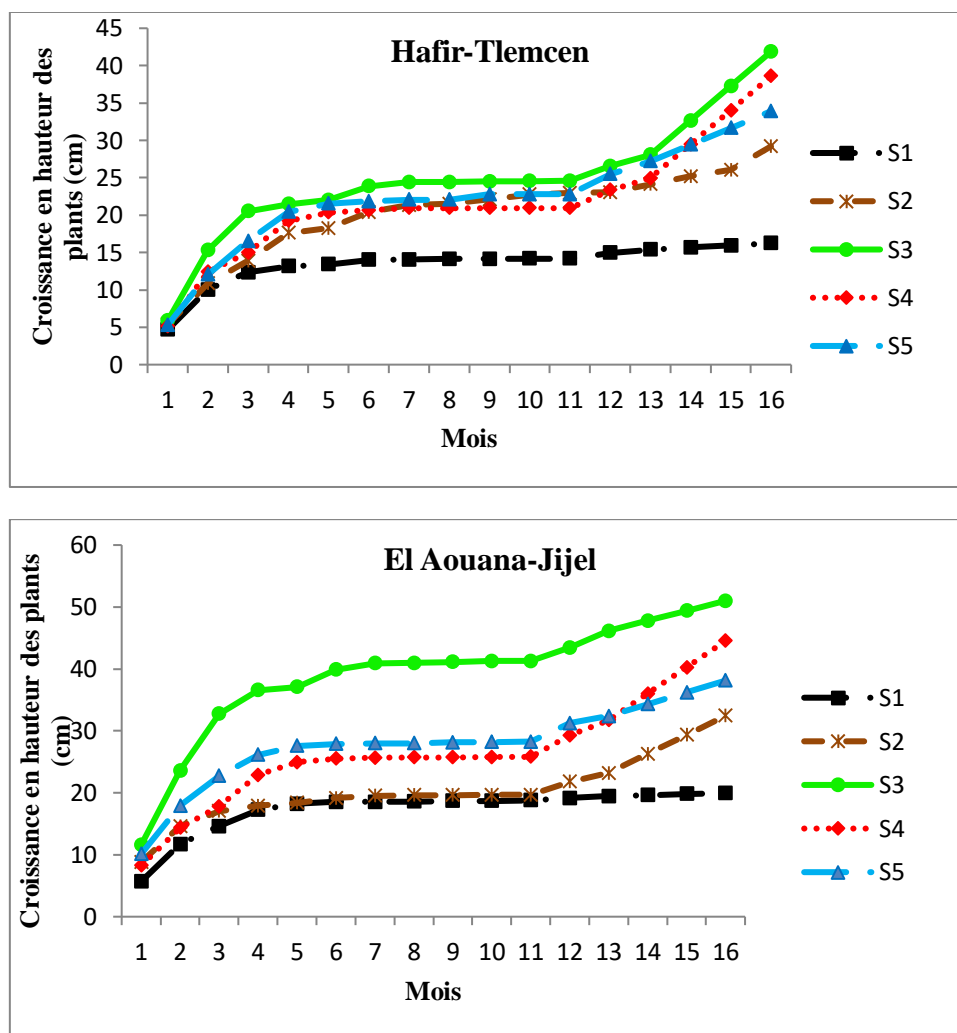


Figure 17. Effet de différents substrats de culture sur l'évolution de la croissance en hauteur des plants de chêne-liège provenant de Hafir et d'El Aouana.

4.4. Croissance du diamètre au collet

Les résultats obtenus au cours de notre étude montrent que l'évolution du diamètre au collet des plants varie en fonction du substrat de culture pour les deux provenances tout au long de leur séjour en pépinière (figure 18). Les valeurs de cette variable varient respectivement pour les provenances Hafir et El Aouana de 3,15 à 3,71 mm pour le sable seul (S1), de 3,67 à 3,74 mm pour la terre végétale (S2), de 3,72 à 4 mm pour le mélange terre végétale/sable (S4) et de 3,71 à 4,17 mm pour le mélange sable/terre végétale/terreau (S5). La meilleure croissance radiale (4,08 à 5,12 mm) a été enregistrée chez les plants cultivés sur le substrat terreau (S3) après 68 semaines de culture. L'effet statistique de la variable explicative qualitative (substrat) donne une valeur de $P=0,0031$ plus faible et inférieur à 0,05, qui se traduit par un degré de différence significative pour la provenance d'El Aouana. Par contre la différence est non significative pour les plants provenant de Hafir où $P=0,144 > 0,05$.

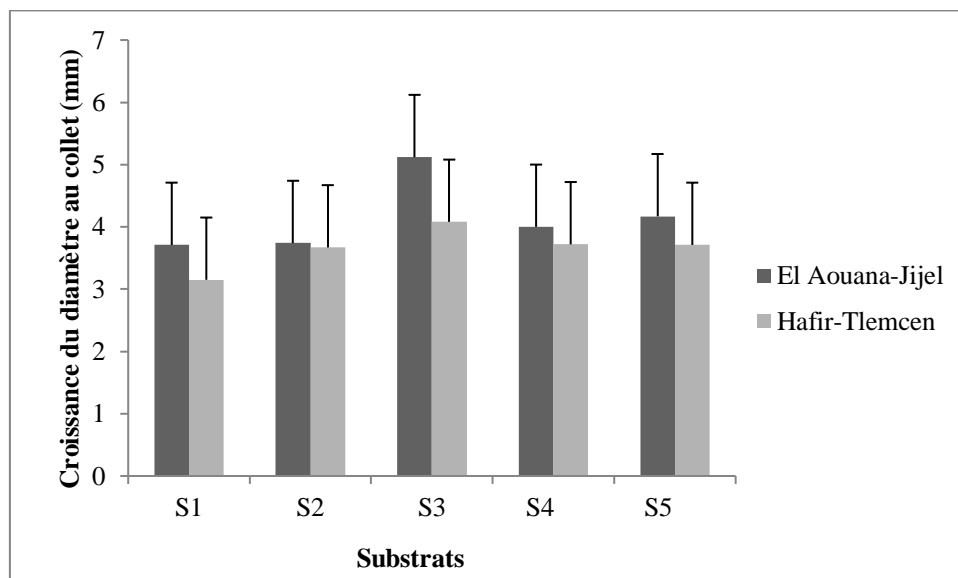


Figure 18. Effet du substrat et de la provenance des glands sur la croissance du diamètre au collet des plants de chêne-liège après 68 semaines de culture.

4.5. Rapport hauteur de tige/diamètre au collet (H/D, cm/mm)

Le ratio de robustesse, Hauteur de tige/Diamètre au collet (H/D) exprimé en cm/mm varie en fonction des substrats utilisés (tableau 09). Pour la provenance d'El Aouana, un faible rapport (4,66) a été enregistré chez les semis élevés sur le substrat sable (S1) alors qu'il a été amélioré chez les trois autres substrats (S2 : terre végétale) 5,46 ; (S4 : sable/terre végétale) 6,62 et (S5 : sable/terre végétale/terreau) 6,67 pour atteindre une valeur maximale de 7,62 pour le (S3 : terreau), avec un écart très significatif compris entre 0,95 et 3,16. Par contre, chez les plants

issus des glands de Hafir, la comparaison entre les rapports obtenus sur les différents substrats montre que le meilleur résultat (6,03) a été enregistré chez le mélange du sable avec de la terre végétale et du terreau (S5). Tandis qu'une faible valeur de ce paramètre (4,29) a été enregistrée chez le sable seul (S1). Les substrats (S2) ; (S3) et (S4) présentent des valeurs intermédiaires respectivement de 5,52 ; 5,94 et 5,84 et l'écart devient peu significatif entre 0,09 et 1,74.

4.6. Nombre moyen de feuilles par plant

L'analyse des résultats du tableau 09 pour la variable nombre de feuilles par plant, a révélé une différence hautement significative ($P=0,0373$) entre les trois substrats S3 ; S4 et S5 pour les deux provenances étudiées. La comparaison des moyennes pour cette variable, montre qu'il varie respectivement de 59,4 ; 46,5 et 47,5 pour la provenance d'El Aouana et de 42 ; 37,5 et 39,4 pour celle de Hafir. Les valeurs observées chez les S1 et S2 sont 22 ; 32 pour la première provenance et 18,6 et 31,7 pour la deuxième. Ces résultats indiquent une nette différence entre les deux provenances étudiées du point de vue nombre moyen de feuilles ainsi que l'ordre de classement des substrats pour ce paramètre où le substrat terreau (S3) a affiché la moyenne la plus élevée.

4.7. Longueur et largeur des feuilles

Les accroissements en longueur des feuilles sur les différents substrats suivent un modèle absolument identique à celui de l'accroissement en largeur pour les deux provenances étudiées (figure 19). Le substrat terreau semble le plus favorable à la croissance des feuilles de chêne-liège. Pour l'ensemble des substrats testés, la croissance moyenne en longueur varie de 3,19 à 4,08 cm pour les plants de Hafir et de 3,76 à 4,82 cm pour ceux provenant d'El Aouana. La différence est significative et inférieure à 0,05 avec $P=0,0147$ et $P=0,0055$ respectivement.

La largeur des feuilles varie elle aussi avec la provenance des plants. Elle est comprise entre 1,97 à 2,46 cm chez les plants issus de la subéraie de Hafir-Tlemcen, et entre 2,29 à 2,74 cm pour les plants provenant d'El Aouana-Jijel.

L'analyse de la variance pour la surface foliaire indique également une différence significative entre les différents substrats testés.

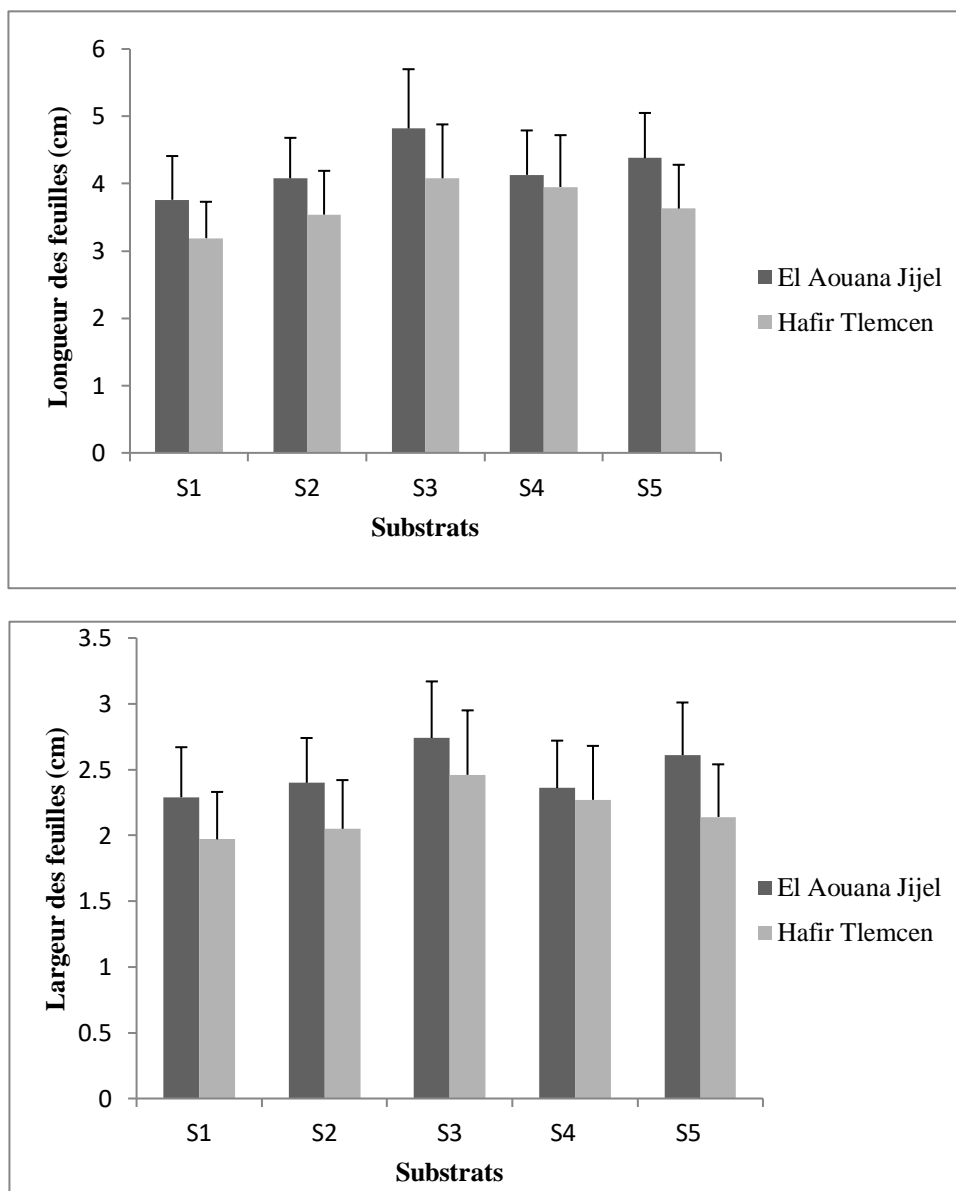


Figure 19. Accroissements moyens en longueur et en largeur des feuilles des jeunes plants de chêne-liège provenant de Hafir (Tlemcen) et d’El Aouana (Jijel) après 68 semaines de culture sur différents substrats (S1 : sable ; S2 : terre végétale ; S3 : terreau ; S4 : sable/terre végétale ; S5 : Sable/terre végétale/terreau)

4.8. Surface foliaire

L’analyse des résultats de la figure 20, révèle un effet significatif des substrats utilisés sur la surface foliaire des plants de chêne-liège. Les plants cultivés dans les substrats S3 et S5 donnent la surface foliaire la plus importante, comparativement à celle enregistrée au niveau des plants des autres traitements. Les plus faibles valeurs sont mesurées au niveau du substrat sable (S1) pour les plants issus des deux provenances El Aouana et Hafir.

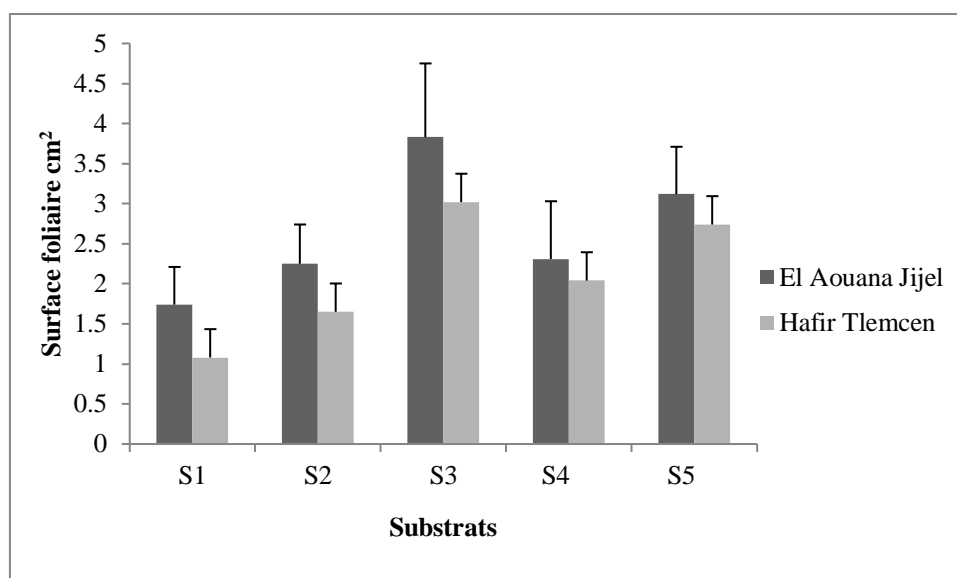


Figure 20. Variation de la surface foliaire des jeunes plants de chêne-liège en fonction du substrat et de la provenance.

5. Discussions

5.1. Taux de levée

La levée résulte du bris de la dormance, de la germination, de la croissance du germe et de son émergence hors du sol (Leblanc et al. 1998). Selon les mêmes auteurs, le sol constitue une barrière physique que le germe doit franchir pour atteindre la surface du sol. La levée des glands a varié en fonction de la nature du substrat utilisé pour le semis. En se référant aux résultats des taux de levée et l'analyse de la variance, nous constatons que l'effet de la nature du substrat a été non significatif pour la provenance de Jijel et significatif pour celle de Tlemcen. Pour les deux origines des glands utilisés, les pourcentages de la levée les plus élevés (90 et 95 %), ont été enregistrés avec les glands semés sur le substrat terreau (S3). Ces taux varient entre 88 et 93 %, avec les autres substrats pour la provenance d'El Aouana. Ces résultats sont comparables à ceux trouvés par Sarir et Benmahioul (2017) chez les trois espèces de chênes (chêne vert, chêne liège et chêne zéen) cultivés en pépinière, de Cemagref (1983), et ceux de Vinagre et al. (2005) qui considèrent que les glands de chêne-liège ont des taux de germination très élevés, plus de 80%, s'ils sont bien manipulés. Il est possible que la germination élevée des plantules obtenue avec le substrat terreau s'explique par ses caractéristiques et précisément par l'excellente capacité de stockage de l'eau et de l'oxygène (Alvino and Rayol, 2007). Ces facteurs offrent un excellent environnement pour l'activation des enzymes responsables de l'hydrolyse des substances de réserve dans les graines et pour le

début du processus de germination et de l'émergence des semis (Taiz et Zeiger, 2009 ; Piva et al. 2013). Cependant, pour la provenance de Hafir, les faibles taux de levée ont été enregistrés avec les substrats sable (S1) 65% et la terre végétale (S2) 73% ainsi que le mélange terre végétale/sable (S4) 75%. Ces pourcentages restent inférieurs à la moyenne (80%) pour les trois substrats testés. Différentes raisons ayant des répercussions majeures sur la levée des glands et qui peuvent conduire à une mauvaise levée, à savoir la profondeur du semis, les attaques des glands ou les jeunes plantules par différents agents pathogènes ou prédateurs comme les fourmis, les insectes et d'autres animaux.

5.2. Taux de mortalité des jeunes plants

L'analyse des taux de mortalité des jeunes plants de chêne-liège d'origine d'El Aouana a montré que la variabilité des résultats est faible au niveau des différents substrats étudiés et que le taux de mortalité varie de 5 à 12%, avec une valeur moyenne de 8,6%. À l'opposé de la provenance de Hafir, où la variabilité des taux de mortalité est importante, et les taux varient entre 10 et 35% avec une mortalité moyenne de l'ordre de 23,4% enregistré sur l'ensemble des substrats testés. Ce taux de mortalité pourrait être dû à des causes multiples. La fonte des semis, cette maladie est due à des champignons microscopiques qui se développent dans les tissus, tuent les cellules et amènent ainsi le ralentissement ou la cessation des fonctions essentielles de la jeune plante. Koumiche et Benmahioul (2016) ont signalé sur un substrat composé de la terre végétale, un taux moyen de mortalité après la levée de 59,6% chez les plants de chêne vert. Abourouh et al. (1995), Benmahioul et al. (2010) signalent eux aussi qu'il existe une relation entre la mortalité des racines des plants due à des attaques de champignons phytopathogènes tels que *Phytophthora* et l'absence d'aération de certains substrats. D'un autre côté, Durand (2005) cité par Assi et al. (2018) affirme que la mauvaise qualité des systèmes racinaires des plants élevés en conteneurs et laissés trop longtemps dans ces derniers, constituent l'une des causes majeures de dépérissement et de mortalité des jeunes plants.

5.3. Croissance rythmique des jeunes semis

Le suivi du développement morphologique des plants de chêne-liège élevés en pépinière dans différents substrats à $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, a révélé une croissance rythmique caractérisée par une succession de phases de croissance durant lesquelles celle-ci manifeste alternativement deux comportements successifs, correspondant, l'un à une croissance rapide, l'autre à une croissance faible ou nulle. Cette croissance a été signalée par plusieurs auteurs chez de

nombreuses essences ligneuses, à savoir : le Hêtre (Lavarenne et al. 1971), le Noisetier (Barnola et al. 1977), le Noyer (Mauguet, 1976), le Mélèze (Owen et Molder, 1979) et le chêne pédonculé (Alatou et al. 1989). Elle est régulière chez les chênes (Rached-Kanouni, 2013) et particulièrement analysée chez les chênes pédonculés (Champagnat et al. 1986 ; Alatou et al. 1989 et 1990), les chênes rouges (Farmer, 1975 ; Hanson et al. 1988), le chêne afarès et le chêne zeen (Alatou et al. 1995). Les résultats de cette étude ont montré que la croissance en hauteur des plants varie en fonction de la nature des substrats testés pour les deux provenances, et ce durant les trois phases de la croissance rythmique. Vogel (1975) a déjà signalé que la croissance rythmique dépend directement des oscillations des facteurs externes, dont la nature de substrat et la présence des substances nutritives. Pour la provenance d'El Aouana, une faible croissance a été enregistrée chez les plants cultivés sur le sable seul (S1) et la terre végétale (S2), elle est légèrement améliorée en présence des mélanges sable/terre végétale (S4) et sable/terre végétale/terreau (S5). Les meilleures valeurs ont été obtenues avec le substrat terreau (S3). Pour la provenance de Hafir, la hauteur moyenne mesurée varie entre 15 et 40 cm pour les substrats terre végétale (S2), terreau (S3) et les mélanges sable/terre végétale (S4) et sable/terre végétale/terreau (S5). La croissance en hauteur la plus faible (15 cm) a été enregistrée chez les plants élevés sur le sable seul (S1).

En ce qui concerne la phase de croissance, entre 16 et 20 semaines, Vogel (1975) signale qu'il existe également des rythmes allant de deux à seize semaines sur de nombreux végétaux ligneux des régions tempérées, tels que *Betula verrucosa* Ehrh., *Carpinus betulus* L., *Castanea vesca* Gaertn., *Fagus silvatica* L., *Quercus pedunculata* L., *Rhamnus frangula* L., *Salix capraea* L., *Sambucus nigra* L., des rythmes de deux à vingt-quatre semaines ont été observés chez les végétaux des régions chaudes du globe. Chez l'oranger, les périodes de croissance sont de 12 semaines pour les tiges et les racines (Reed et Mac Dougall, 1938). D'un autre côté, une phase de croissance ralentie, d'une durée importante a été observée, sur les jeunes plants de chêne-liège. Lavarenne et al. (1971) signalent eux aussi l'existence d'arrêts végétatifs de longue durée chez le hêtre *Fagus silvatica* L. même lorsqu'il est cultivé en conditions favorables et constantes.

5.4. Croissance en hauteur et en diamètre au collet

L'évolution de la croissance en hauteur moyenne des plants de chêne-liège a été évaluée par l'allongement de ces derniers durant leur cycle de développement en pépinière. Les résultats montrent que la croissance en hauteur des plantules des deux provenances élevées dans

différents substrats suit la même allure avec des différences parfois importante entre eux. Pour la forêt d'El Aouana-Jijel, l'apparition des tiges commence dès la deuxième semaine. La croissance a été affectée d'une manière très hautement significative par le type de substrat utilisé. En effet, les hauteurs moyennes obtenues forment trois groupes différents. Un groupe de croissance importante enregistrée avec les plants cultivés dans le substrat S3=39,05 cm, un deuxième groupe avec une taille moyenne contenant les plants élevés sur les deux mélanges S4=26,51 cm et S5=27,82 cm et enfin un groupe composé de plants d'une taille au-dessous de la moyenne enregistrée avec les deux substrats S1=17 cm et S2= 20,43 cm.

Pour la provenance de Hafir-Tlemcen, les résultats obtenus nous ont permis de classés la hauteur moyenne des plants en deux groupes seulement. Le premier groupe relatif aux plants ayant une faible croissance enregistrée sur le substrat S1= 13,52 cm. Le second groupe est composé de plants ayant une taille moyenne obtenus sur le substrat S2=21,26 cm et les mélanges S4= 21,73 cm et S5= 22,37 cm. En présence du substrat S3, une légère amélioration de la croissance en hauteur des tiges (24,86 cm) a été constatée. L'apparition des tiges commence dès la deuxième semaine pour les différents substrats testés. Dans l'ensemble, la meilleure croissance en hauteur a été observée avec les plants issus de glands semés sur le substrat terreau. Par contre, le sable est le substrat qui présente la croissance la plus faible. D'une autre coté, l'utilisation d'un mélange de substrats a porté une légère amélioration pour la croissance en hauteur des plants. M'Sadak et al. (2013) signalent qu'en pépinière, les propriétés physiques du substrat de culture comptent parmi les facteurs déterminants de la qualité morphologique des plants. Weaver (1958) a montré depuis longtemps que la morphologie des racines peut être modifiée par les facteurs du milieu tels la granulométrie, la nature et la structure du substrat. De plus, Hillel (1982), Landis (1990), Lamhamedi et al. (2000 et 2006), ont montré l'influence des caractéristiques physiques du substrat sur l'ensemble des fonctions racinaires, notamment l'absorption de l'eau et des éléments minéraux nécessaires à la croissance et au développement des plants.

Pour le diamètre au collet, la comparaison des valeurs moyennes montre aussi une dominance des plants issus de substrat S3 avec un diamètre moyen de 4,08 et 5,12 mm, pour les deux provenances Hafir et El Aouana respectivement. Pareille comme la croissance en hauteur, les plants élevés sur le substrat sable (S1) Sable, présentent la plus faible croissance en diamètre au collet avec une valeur de 3,15 et 3,71 mm. Dans l'ensemble, les diamètres obtenus sont acceptables. Ces résultats concordent avec ceux de Lamhamedi et al. (2000). Ces chercheurs

affirment qu'un plant qui mesure 28 à 40 cm de hauteur, son diamètre varie entre 4 et 5 mm. Des résultats similaires ont été obtenus par El Boukhari et al. (2013). Ils ont trouvé que le diamètre moyen observé va de 3,2 à 5,9 mm. Cependant, Bouchaour-Djabeur et al. (2011) ont notés que les valeurs de ce paramètre varient peu de 2,5 à 3,2 mm.

5.5. Rapport hauteur de la tige /diamètre au collet (cm/mm)

Les résultats obtenus ont montré que le rapport hauteur de la tige/diamètre au collet est variable suivant les substrats et les provenances. Il est plus élevé dans le substrat S3 (7,62) pour la provenance de Jijel et dans le mélange S5 (6,03) pour celle de Tlemcen. Le substrat S1 a présenté le quotient de vigueur le plus faible, soient 4,46 et 4,29 pour les plants issus de Jijel et Tlemcen respectivement. Ce rapport Hauteur/Diamètre montre que la croissance en hauteur des plants est plus rapide que celle en diamètre et d'autre part, un critère d'évaluation de la qualité des plants forestiers. Selon Lamhamedi et al. (1997 et 2000), le rapport H/D, doit être inférieur à 8 lorsque le plant atteint un objectif de 28 à 40 cm quant le diamètre au collet varie entre 4 et 5 mm. Nos résultats corroborent avec ceux observés par Sarir et Benmahioul (2017) découlant d'une étude sur la croissance de trois espèces de chênes (chêne vert, chêne liège et chêne zéen) cultivés en pépinière, Bouchaour-Djabeur et al. (2011), El Boukhari et al. (2013) et Zine El Abidine et al. (2016) sur la croissance et le développement des semis de glands de chêne-liège.

5.6. Nombre de feuilles par plant

Le nombre de feuilles est un bon indicateur des capacités assimilatrices de la plante et de sa production en biomasse (Fischesser et Dupuis Tate, 1996). La comparaison des résultats de la variable mesurée, pour les deux provenances étudiées, montre une différence significative entre les différents substrats utilisés ($P=0,0373$). Le nombre moyen de feuilles produit par plant est plus élevé chez les semis cultivés dans le substrat S3 et les deux mélanges S4 et S5, ceux élevés dans le substrat S2, présentent une valeur moyenne par rapport aux trois premiers substrats. Au niveau du S1, le nombre de feuilles est réduit à 18,6 et 22 feuilles/plant, pour Hafir et El Aouana respectivement. Cela est dû probablement aux qualités physico-chimiques du S1, qui ne permettent pas aux plants de s'approvisionner correctement en eau et en sels minéraux. Plusieurs auteurs ont trouvé des résultats similaires montrant ainsi, l'importance d'utiliser le terreau, ou un mélange à base de terreau et d'autres substrats dans la production des plants et plus précisément dans la production de la biomasse aérienne. Notons en outre le rôle déterminant de la température de l'air et de l'humidité du sol sur l'émission des nouvelles

feuilles. En effet, Verliere (1970) a montré que la température de l'air durant le jour est favorable à l'apparition des poussées foliaires chez le cacaoyer. Ce facteur a été également signalé par Hardy (1960).

5.7. Longueur et largeur des feuilles

L'analyse de la croissance des feuilles des jeunes semis en pépinière a montré qu'à la fin de l'expérimentation, le développement des feuilles a été affecté significativement par le type de substrat, et ce quelque soit la provenance étudiée. En effet, au niveau du S3, les plants ont eu des dimensions significativement supérieures à celles des plants des autres substrats. Pour l'ensemble des substrats testés, nous avons constaté une différence entre la croissance en longueur et en largeur ainsi que la surface foliaire des plants. Cette variabilité de croissance se manifeste en présence d'autres facteurs que nous avons déjà mentionnés, à savoir la température de l'air et l'humidité du substrat.

Les résultats que nous avons obtenus ont révélé l'effet du substrat non seulement sur la néoformation des feuilles mais aussi sur leur croissance. Les dimensions moyennes des feuilles chêne-liège varient entre 3,19 et 4,82 cm en longueur et 2 à 2,74 cm de largeur, avec une surface foliaire située entre 1,08 cm² (S1) et 3,83 cm² (S3). Ces résultats confirment ceux observés par Piazzetta (2005) sur la taille des feuilles de chêne-liège qui varient de 3 à 6 cm en longueur et de 2 à 3 cm en largeur.

6. Conclusion

Cette étude présente les résultats d'une expérience qui concerne la germination et la croissance des semis de *Quercus suber* L. sur des différents substrats. Elle vise à mettre à la disposition des pépiniéristes des informations nécessaires sur l'utilisation adéquate des substrats (purs ou en mélange) pour produire un plant de bonne qualité.

Au terme de ces investigations, l'utilisation de substrat riche en matière organique a donné des taux de levées très satisfaisants par rapport aux substrats minéraux. Concernant les paramètres biométriques exprimés statistiquement, on a trouvé que les meilleurs résultats sont enregistrés avec le substrat S3 (terreau) pour les différents paramètres de croissances considérés, comparativement supérieur aux autres substrats testés, plus précisément aux substrats classiques utilisés en pépinières forestières en Algérie, à savoir le sable (S1) et la terre végétale (S2). Pour le végétal cultivé, le substrat S3 peut être conseillé en pépinières pour la production de plants par voie générative, car il présente un rapport hauteur diamètre

au collet supérieur à la norme. Il est judicieux de l'utiliser avant même qu'il arrive à ce stade, ceci permettra d'avoir des plants, précoces avec une durée de séjours en pépinière écourtée, et par conséquent, une réduction du coût de production des plants en pépinière. En outre, l'utilisation d'un mélange équilibré en substrat comme le S5, présente un avantage pour l'amélioration de la croissance et du développement des jeunes plantules. Globalement, et du point de vue provenance, les résultats obtenus ont fait ressortir que les glands d'origine d'El Aouana-Jijel sont les meilleurs, car ils ont donné les meilleurs résultats pour l'ensemble des paramètres étudiés. Toutefois, d'autres études complémentaires et diversifiées, aussi bien en pépinière qu'en site de reboisement, sont nécessaires pour valider le substrat approprié pour la production de plants de chêne-liège.

**CHAPITRE IV. EFFET DE LA DUREE DE
CONSERVATION DES GLANDS SUR L'EVOLUTION
DE LA TENEUR EN EAU, LA GERMINATION, LA
LEVEE ET LA CROISSANCE DES PLANTULES DE
Quercus suber L.**

Chapitre IV. Effet de la durée de conservation des glands sur l'évolution de la teneur en eau, la germination, la levée et la croissance des plantules de *Quercus suber* L.

Résumé

Les semences récalcitrantes sont très difficiles à conserver, à cause de leur sensibilité à la dessiccation et à l'abaissement de la température. Ainsi, différentes techniques sont recherchées pour assurer une conservation à moyen et à long terme du matériel végétal des arbres forestiers et maintenir leur viabilité la plus longue durée possible. À cet effet, la conservation des glands de chêne-liège issus de deux régions géographiques distinctes a été suivie pendant une durée de 12 mois. Cette étude a révélée, que la durée de stockage à une température de $3^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$, a influencée négativement la teneur en eau des glands qui s'est diminuée pour les deux provenances étudiées. De même, la cinétique de levée des semis a été fortement baissée au-delà de 3 et 6 mois de conservation pour atteindre un niveau nettement inférieur à 80 %. Au niveau de la pépinière, les résultats ont montré que la baisse de vigueur des glands durant les différentes périodes de stockage a visiblement répercuté sur les paramètres de croissance de la partie aérienne et sur la vigueur des plants.

Mots clés : Chêne-liège, conservation, teneur en eau, semences récalcitrantes, pépinière, vigueur.

1. Introduction

Les changements climatiques, la modification de l'habitat, la sécheresse et les incendies, provoquent l'érosion des sols, la désertification et l'appauvrissement de la diversité biologique. Il en résulte une diminution régulière de la capacité de la terre, dans de nombreuses parties du monde, de produire les biens et les services nécessaires à la survie de l'homme (FAO, 1989).

Dans la région méditerranéenne, les ressources génétiques forestières sont confrontées aux différentes menaces : la surexploitation, la récolte sélective et le taux de mortalité élevé des arbres qui découle d'événements climatiques extrêmes ou de l'apparition de foyers d'organismes nuisibles ou de maladies. Ces menaces peuvent entraîner l'extinction de la population locale et l'érosion des ressources génétiques forestières. Par conséquent, il est essentiel et urgent de renverser la tendance actuelle à la destruction des forêts, à la dégradation des écosystèmes et à la disparition des ressources génétiques par une stratégie

intégrée de gestion des ressources et de préservation de la diversité biologique. Cela est particulièrement vrai dans les régions arides et semi-arides où des écosystèmes complexes et riches en espèces sont rapidement détruits ou transformés, par la pression croissante des populations humaines, des animaux domestiques et des fluctuations climatiques (Palmberg, 1987).

La conservation des ressources génétiques végétales peut être assurée soit à l'emplacement même des ressources (conservation *in situ*) qui consiste à protéger des essences forestières en les intégrant dans un système de parcs ou de réserves et qui permet à l'évolution de se poursuivre dans le milieu naturel, soit hors de leur habitat naturel (conservation *ex situ*), qui comporte un degré de protection plus élevé et par conséquent, une plus grande isolation du plasma germinatif que dans la conservation *in situ* (Withers, 1990).

D'après les travaux de Wang (1971, 1974, 1975 et 1982), Wang et al. (1991) et FAO (1994), la conservation en conditions contrôlées de semences est la stratégie de conservation *ex situ* des arbres forestiers la plus employée à court terme (3 à 5 ans) et à moyen terme (30 ans ou plus). Néanmoins, la conservation de semences pour une durée équivalente à une rotation est possible pour de nombreuses essences ligneuses, et cette méthode pourrait offrir des possibilités intéressantes pour la conservation *ex situ* en général (Bonner, 1983). Le maintien d'une banque de semences de bon rendement exige des techniques efficaces de contrôle de la faculté germinative des stocks de graines.

La longévité des semences des espèces ligneuses stockées est contrôlée génétiquement et varie selon les espèces, même dans le cas de conditions de conservation optimales. Les semences sont groupées en deux catégories en fonction de leur comportement lorsqu'elles sont stockées : orthodoxes et récalcitrantes (Roberts, 1973). Les semences orthodoxes supportent la dessiccation et les basses températures et restent viables pendant de longues périodes lorsqu'elles sont stockées dans un endroit sec et frais. Les semences stockées de cette catégorie ont une longue durée de vie pouvant atteindre 50 ans comme l'a souligné Bonner (1990). Les données fiables sur le stockage à long terme des semences de type orthodoxe d'espèces ligneuses sont rares.

Les semences récalcitrantes sont sensibles à la dessiccation mais peuvent être stockées à des températures avoisinant le point de congélation. Font partie de ce groupe, les glands de *Quercus sp.* Ils peuvent être séchés jusqu'à atteindre une teneur en eau relativement élevée de 35 à 50% du poids frais et stockés sans risque à des températures oscillant entre -3 et 3°C

(Bonner, 1973 ; Suszka et Tylkowski, 1981 et 1982). Les semences de ce groupe ont une longévité de 12 à 30 mois si l'on parvient à maintenir une teneur en eau relativement élevée et qu'il est possible de procéder des échanges gazeux.

Afin d'assurer aux semences orthodoxes et récalcitrantes conservées la plus longue durée de vie possible, l'un des problèmes associés à la constitution de banques de gènes est la qualité initiale des semences au moment de stockage (Conseil international des ressources phytogénétiques, IBPGR, 1982). Toutes les semences récoltées doivent être soumises à un contrôle rigoureux de leurs qualités génétiques et physiologiques originales pendant toute la durée des étapes de récolte, de manutention, de traitement, de test et de stockage (FAO, 1994). Il faut souligner que la longévité de ces deux catégories de semences, est évaluée à partir des connaissances actuelles. Elle pourrait varier d'un groupe à l'autre au fur et à mesure que les techniques de dessiccation et de conservation s'amélioreront.

Le présent chapitre sur la conservation des glands de *Quercus suber* L. a pour objectif (i) d'étudier l'évolution de la teneur en eau des glands durant les différents stades de conservation, (ii) et d'analyser l'effet de la teneur en eau sur la germination des glands et les paramètres de croissance des plantules de chêne-liège issue de deux provenances : El Aouana (Jijel) et Hafir (Tlemcen).

2. Matériel et méthode

2.1. Matériel végétal

Les mêmes provenances utilisées dans les essais précédents ont été utilisées pour la réalisation de cette expérimentation. Le matériel végétal est constitué des glands visiblement mûrs collectés à partir de dix arbres appartenant à deux peuplements naturels de chêne-liège. Il s'agit d'une subéraie de littoral d'El-Aouana (Jijel) et d'une subéraie de montagne de Hafir (Tlemcen). Pour chaque provenance la récolte des glands a été réalisée sur des arbres vigoureux, distants d'au moins 100 mètres les uns des autres à cime bien dégagée, sélectionnés par leur glandée abondante et leur bon état sanitaire.

Au laboratoire, les glands ont été séparés dans un premier temps par provenance, puis nettoyés et triés manuellement, afin d'éliminer ceux qui ne sont pas suffisamment mûrs ou ceux présentant un dessèchement, puis par un test de flottation à l'eau ordinaire, les glands non viables (flottants) ont été éliminés (Dupouey et Le Boulter 1989).

Pour la mise en conservation, une bonne quantité de glands de chaque provenance a été entreposée dans des sacs en polyéthylène doublés et bien fermés. Les sacs portant les informations sur la provenance et la date de conservation sont stockés dans un réfrigérateur à une température de $3^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$.

3. Méthodes

3.1. Détermination de la teneur en eau des glands

Afin de déterminer l'influence du milieu et de la durée de conservation sur l'évolution de la teneur en eau des glands durant la période de stockage, deux lots de 50 glands chacun ont été pris au hasard pour les deux provenances et ont été stockés de la même manière et dans les mêmes conditions de conservation. Pour chaque provenance la teneur en eau a été déterminée en utilisant un échantillon de 50 glands répartie en cinq séries de dix glands chacun. Les glands de chaque série ont été pesés pour déterminer le poids frais (Pf) initial à 0 ; 3 ; 6 ; 9 et 12 mois de conservation. A la fin de conservation (après 12 mois), les glands ont été séchés à l'étuve à une température fixée à $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ pour une durée de 17 ± 1 h (ISTA, 2009) afin d'estimer le poids sec (Ps) de chaque série. La TE du lot, rapportée à la moyenne des cinq répétitions, a été calculée en rapport au poids frais de chaque durée de conservation selon la formule (Willan, 1992 ; ISTA, 2009) : $TE = 100 \times (Pf - Ps) / Pf$.

3.2. Croissance et développement des semis

Dans le but d'examiner la variabilité de la croissance des semis et d'évaluer l'influence de la durée de conservation sur le développement ultérieur des semis aux niveaux intra et inter-provenance, cinq semis en pépinière de la conservation des forêts de la wilaya de Tlemcen, ont été effectués avec des glands conservés au froid pendant 0 ; 3 ; 6 ; 9 ; 12 mois. A chaque fois, les glands ont été semés manuellement en position horizontale à raison d'un gland par conteneur WM de 400 cm^3 à fonds ajouré et remplis avec du terreau, choisis comme un bon substrat pour l'élevage des plants de *Q. suber* en pépinière (Chapitre III). Les conteneurs sont rangés en caissettes en plastiques à fonds perforé. Pour chaque provenance, le dispositif de chaque durée de conservation a été représenté par trois caisses contenant 60 glands (20 glands/caisse \times 3 répétitions). Au total, 300 glands de chêne-liège par provenance ont été utilisés pour réaliser cette expérimentation. Les soins subséquents se résument à des arrosages et désherbages en permanence, aucune fertilisation n'a été apportée aux jeunes semis durant tout le cycle d'élevage (6 mois).

3.3. Mesures et observations

Pour chaque durée de conservation, le taux de levée a été mesuré à partir de la première semaine de culture et a duré jusqu'aux quarante-cinq jours. La prise de mesure de la croissance des plants en hauteur a été effectuée une fois par semaine à l'aide d'une règle graduée en centimètre, et cela depuis le collet jusqu'au sommet de bourgeon terminal. La mesure de diamètre au collet a été prise une fois par mois à l'aide d'un pied à coulisse. A la fin du cycle de développement, le quotient de robustesse Hauteur/Diamètre, l'indice de vigueur (I) et la surface foliaire, ont été calculés.

3.4. Analyse des données

Les valeurs moyennes des paramètres suivis pour les glands et celles des plants ont été examinées par analyse de variance au niveau inter et intraprovenance. Un test de *Tukey* au seuil de significativité de 5% a été appliqué pour identifier les différences significatives entre les moyennes des différents paramètres suivis.

4. Résultats

4.1. Effet de la durée de conservation sur l'évolution de la teneur en eau des glands

Les glands appartenant à la provenance de Hafir affichent à la récolte une teneur en eau moyenne de 45,32%, tandis que ceux provenant de la subéraie d'El Aouana avaient une teneur en eau initiale de 51,66%. Les deux lots de glands, ont perdus progressivement et respectivement 2,5 à 3,84% de leurs réserves en eau au cours des trois premiers mois de stockage. Au sixième mois, une diminution de 5,11 à 7,22% a été observée et en douze mois elle est de 12,73 à 13,78%, pour atteindre une teneur en eau moyenne à la fin de la durée de stockage de 32,59 à 37,88% respectivement (figure 21).

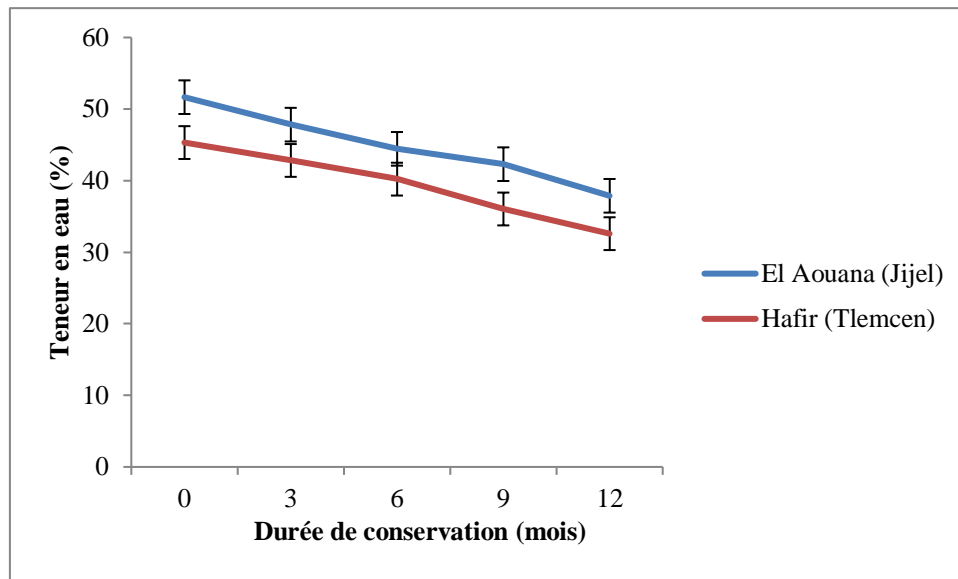


Figure 21. Evolution de la teneur en eau des glands de chêne-liège en fonction de la durée de conservation.

4.2. Effet de la durée de conservation sur le taux de levés des plants

Le suivi de la levée des semis pour les lots témoins et ceux de glands conservés pendant 3 mois a montré des taux moyens de levée importants qui varient de 91,3 à 100% pour la provenance de Hafir et de 89,42 à 92,64% pour celle d'El Aouana. En revanche, les taux de levée ont fortement baissé après 3 et 6 mois de conservations pour les deux provenances respectivement. Le pourcentage de régression a été important, et varie de 33 à 35% par rapport aux témoins au bout de 12 mois de conservation (figure 22).

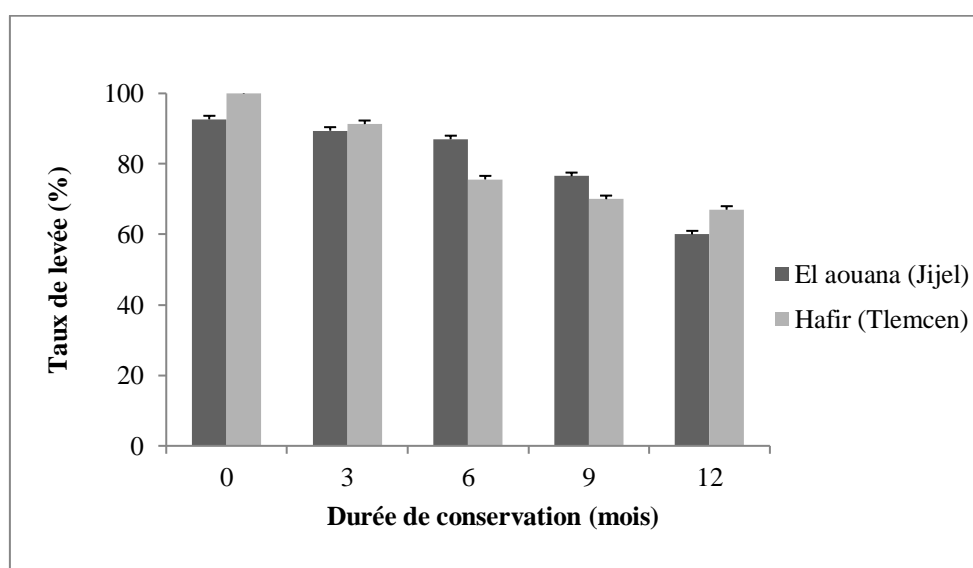


Figure 22. Taux moyens de levée des plants de chêne-liège calculés après 45 jours du semis

4.3. Effet de la durée de conservation sur la hauteur des plants

L'analyse de la croissance en hauteur des semis (figure 23) indique une différence significative inter et intraprovenance. En effet, les hauteurs cumulées ont oscillé de 21,08 à 40,50 cm et de 32,74 à 48.58 cm, chez les semis issus des glands conservés 12 mois et ceux des témoins pour Tlemcen et Jijel respectivement. Le gain en croissance des tiges varie entre les lots témoins et les lots ayant subi des conservations entre 6,75 à 15,84 cm et 7,78 à 19,42 cm respectivement pour les mêmes provenances (figure 23).

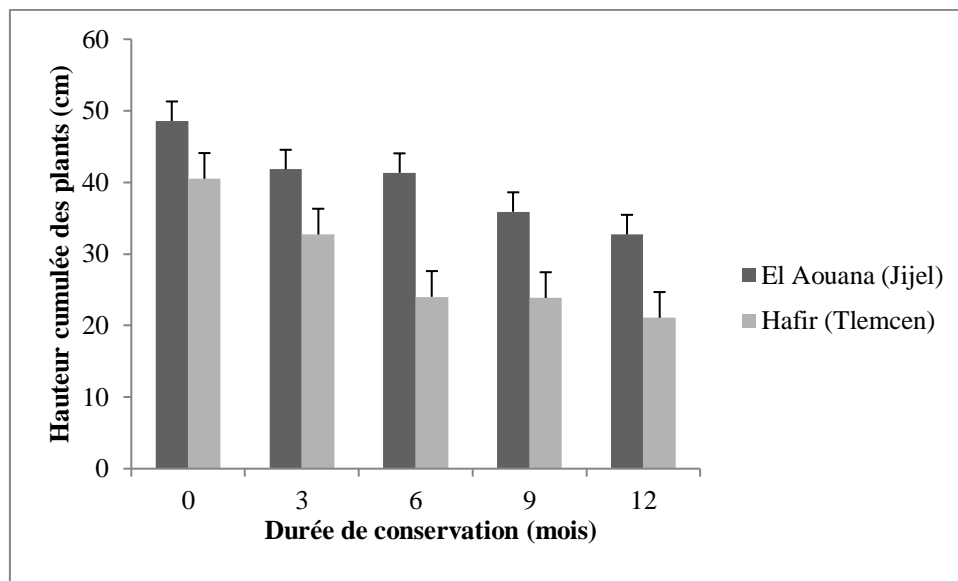


Figure 23. Hauteur cumulée des plants de chêne-liège après 24 semaines de culture.

4.4. Effet de la durée de conservation sur le diamètre au collet, le quotient de robustesse H/D et la surface foliaire

L'analyse des résultats du tableau 10, ne montrent aucun effet significatif de la durée de conservation des glands sur la croissance radiale des plants inter et intraprovenance. En effet, le diamètre moyen au collet varie entre 3,16 et 3,83 mm pour les plants issus d'El Aouana et entre 2,91 et 3,92 mm pour ceux provenant de Hafir. Toutefois, une différence significative a été observée pour le quotient de robustesse chez les plants issus de glands conservés comparativement aux témoins et ce quelque soit la durée de conservation.

Les résultats du tableau 10, montrent également, la variation de la surface foliaire des plants en fonction de la provenance et la durée de conservation. En effet, après 3 mois de conservation, la variabilité étant faible suite à une analyse statistique et aucune différence significative n'a été enregistrée entre les deux provenances étudiées. En revanche, la variation

a été significative ($P=0,000$) pour la même provenance entre le témoin et les différentes durées de conservation testées.

Tableau 10. Effet de la durée de conservation des glands sur le diamètre au collet, l'H/D, l'indice de vigueur et la surface foliaire des plants de chêne-liège.

<i>Paramètres de croissances</i>	<i>Provenances</i>	<i>Durées de conservations (mois)</i>				
		0	3	6	9	12
<i>Diamètre au collet (mm)</i>	<i>El Aouana- Jijel</i>	03,45	03,83	03,55	03,16	03,37
	<i>Hafir-Tlemcen</i>	03,11	03,92	02,90	02,97	02,81
<i>Quotient H/D</i>	<i>El Aouana- Jijel</i>	10,80	08,62	08,87	08,61	07,66
	<i>Hafir-Tlemcen</i>	10,42	07,06	06,89	06,20	06,00
<i>Indice de Vigueur</i>	<i>El Aouana- Jijel</i>	4500	3740	3595	2746	1964
	<i>Hafir-Tlemcen</i>	4050	2987	1815	1669	1412
<i>Surface foliaire (cm²)</i>	<i>El Aouana- Jijel</i>	04,10	03,56	03,30	02,59	02,16
	<i>Hafir-Tlemcen</i>	03,43	02,73	02,63	02,50	01,87

5. Discussion

Le choix de dix arbres distants d'au moins 100 m les uns des autres, avec un bon état végétatif, sanitaire et une cime bien dégagée dans les deux subéraies d'El Aouana (Jijel) et Hafir (Tlemcen), pour récolter les glands, a été fait pour non seulement s'assurer de la qualité du matériel végétal mais aussi de la pureté des glands collectés. Cette étude a permis dans un premier temps d'évaluer l'effet de la durée de conservation sur la teneur en eau des glands de chêne-liège et dans un second temps sur la croissance et le développement des plants en pépinière.

La teneur en eau est un facteur essentiel qui influe sur la longévité des semences entreposées. En effet, ce facteur conditionne le maintien ou la dégradation des qualités sanitaires des semences stockées. Roberts et Ellis (1989) ont découvert que la teneur en eau a un effet catastrophique en présence d'oxygène dans les cas où les semences à forte teneur en eau (15-45%) sont conservées. Les glands de chêne-liège qui font partie des semences récalcitrantes et utilisés dans le cadre de cette étude ont affichés à la récolte des taux d'humidités initiaux moyens de 45,32 et 51,66%. Ces pourcentages traduits la maturité suffisante des glands utilisés qui devraient avoir des teneurs en eau élevées au moment de leur dissémination. Les niveaux des teneurs en eau moyennes mesurés dans cette étude sont proches à ceux rapportés par d'autres auteurs sur la même espèce (Merouani et al. 2001 et Xia et al. 2012). Une diminution de la teneur en eau de 2,5 à 12,73% et de 3,84 à 13,78% a été constatée chez les glands de Hafir et El Aouana respectivement durant les différentes périodes de conservation et les valeurs finales obtenues varient de 32,59 à 37,88% respectivement. Ces constatations ont

été similaires à celles faites par Benamirouche et al. 2018 sur les glands de chêne-liège après une année de conservation.

Après des taux de levées importants enregistrés pour les glands fraîchement récoltés (sans conservation) et à trois mois de stockage avec des valeurs élevées allant de 89,42 à 92,64%, pour la provenance de Jijel et de 91,3 à 100% pour celle de Tlemcen, la levée a diminué à 60 et 67% respectivement après 12 mois de conservation, soit une réduction de 32,64 et 33% respectivement de la faculté germinative des glands. Les variations observées au niveau des taux de levée après trois mois de stockage, pourraient être attribuées à une baisse de la teneur en eau des glands qui occasionne simultanément une perte de la capacité germinative. Ces résultats viennent confirmer les effets relevés, à travers des études antérieures, exercés par la variation du niveau de l'humidité des graines sur le processus de germination chez les espèces récalcitrantes. Muller (1989), a montré que la teneur en eau est l'un des facteurs les plus importants pour le maintien de la faculté germinative au cours de la conservation. Cette réduction du taux de germination a également été évoquée chez *Carapa procera* par Sanogo et al. (1996), où la réduction de la teneur en eau à un niveau relativement faible (< 20%) occasionne la perte de la viabilité des graines et chez *Garcinia kola* dont les graines perdent leur capacité germinative dès que leur teneur en eau devient inférieure à 30% (Agyili et al. 2007). Nos essais ont montré aussi que la levée des semis semble affectée par la durée de stockage pour les deux sources de glands. Rajaramanna et al. (2010) ont souligné que la période de stockage avait des effets négatifs sur la germination d'échantillons de seigle. Cependant, d'autres travaux sur le maïs (Govender et al. 2008) et sur la vigueur des semences de blé (Nasreen, 1999 ; Strelec et al. 2010) ont montré, qu'après un an de stockage le pourcentage de germination de tous les échantillons a diminué de manière significative.

À la pépinière, et du point de vue de la croissance en hauteur, les résultats obtenus ont montré une action différente de la durée de conservation qui se manifeste par un retard de développement des semis. En effet, les semis d'El Aouana issus des glands conservés pendant 3 et 6 mois étaient mieux développés en longueur que ceux provenant de glands stockés pendant 9 et 12 mois. En ce qui concerne le diamètre au collet, les semis issus des glands conservés pendant 3 mois donnent les meilleurs résultats 5,38 et 5,14 mm. L'indice de vigueur calculé diminue avec la durée de conservation et les plants produits à partir des glands stockés pendant 9 et 12 mois sont moins vigoureux comparativement à ceux issus des glands fraîchement récoltés ou même ceux conservés durant 3 ou 6 mois. Nos résultats sont

en accord avec les travaux de Tilki (2010) et Noland et al. (2013) qui ont montré une baisse de vigueur de glands durant la conservation suite à l'épuisement de leurs réserves avec le temps, ainsi que celles de plants des deux espèces *Quercus petraea* et *Quercus rubra*.

Les résultats relatifs à la surface foliaire ont montré que les plants issus des glands fraîchement récoltés, ainsi que ceux stockés pendant 3 mois donnent le meilleur développement foliaire comparativement aux plants provenant des glands conservés pendant 12 mois. La surface foliaire des plants issus des glands conservés, quelque soit la durée de stockage, se trouve réduite comparativement à celle des plants témoins, toutefois cette réduction est aussi variable, en fonction de la source des glands en question.

6. Conclusion

La conservation en conditions contrôlées du matériel végétal avec des méthodes relativement simples est l'une des stratégies de conservation *ex situ* des arbres forestiers les plus employées actuellement. En revanche, de grandes difficultés sont rencontrées avec les espèces à semences récalcitrantes, à cause de leur biologie très particulière.

A travers cette étude, nous avons montré l'effet négatif de la durée de conservation des glands de chêne-liège sur leur teneur en eau, la levée et la croissance des jeunes plantules issus des deux provenances. La cinétique de levée des semis a fortement baissée au-delà de 3 et 6 mois de stockage pour atteindre un niveau nettement inférieur à 80 %. Pareille pour la croissance des plants en pépinière, les résultats ont montré une nette régression de la vigueur des plants et les paramètres de leur croissance après les différentes durées de conservation testées.

**CHAPITRE V. EFFET DU STRESS SALIN SUR LA
GERMINATION DES GLANDS ET LA CROISSANCE
DES JEUNES SEMIS DE CHENE-LIEGE**

Chapitre V. Effet du stress salin sur la germination des glands et la croissance des jeunes semis de chêne-liège.

Résumé

L'impact néfaste de la salinité sur les plantes, se traduit par la conjonction d'un effet indirecte sur le potentiel hydrique se traduisant par une réduction de la disponibilité de l'eau pour la plante et également par la toxicité et les perturbations de sa nutrition minérale.

Afin d'étudier l'effet de la contrainte saline sur la germination des glands de chêne-liège et la croissance des plants en pépinière, différentes concentrations en NaCl (0 ; 2,5 ; 5 ; 10 et 15 g/l) ont été testées. L'objectif était de sélectionner de clones tolérants au sel.

Les résultats obtenus ont montré une diminution du taux de germination des glands pour les deux provenances (Jijel et Tlemcen), à partir de la concentration de 5 g/l. De façon générale, l'étude de l'ensemble des paramètres de germination a mis en évidence la sensibilité au sel de la provenance de Tlemcen comparativement à celle de Jijel. De plus, la salinité a exercé un effet dépressif sur l'élongation de la racine pivotante des plants pour les deux provenances étudiées. La réduction de la croissance racinaire augmente avec la concentration saline testées. La croissance en hauteur des plants a été nettement affectée par le stress salin comparativement à celle radiale où l'effet du sel a été faible.

Mots clés : NaCl, stress salin, germination, croissance, glands, chêne-liège.

1. Introduction

Les plantes sont toujours exposées aux différents types de contraintes (abiotiques et/ou biotiques). Le stress salin est l'une des principales contraintes abiotiques qui provoque à la fois un stress ionique et un stress osmotique chez les plantes (Dubey, 1997 ; Bartels et Sunkar, 2005 ; Chadli et Belkhodja, 2007 ; Djerah et Oudjehih, 2015). Durant le début et le développement du stress salin à l'intérieur de la plante, tous les processus majeurs tels que la croissance, les relations hydriques, la photosynthèse et l'absorption des minéraux sont affectés (Neumann, 1997 ; Parida et Das, 2005 ; Bouzid, 2010).

En conditions stressantes, les plantes peuvent réagir en mettant en œuvre des mécanismes physiologiques (Parida et Das, 2005) et biochimiques (Brugnoli et Lauteri, 1991) impliquant une activité enzymatique (Chaffei et al. 2004), par la synthèse de composés organiques ayant

un rôle d'osmoprotecteurs ou régulateurs osmotiques (Rathinasabapathi, 2000 ; Amara et Benrima, 2017).

Les différentes formes de réponses des plantes à l'effet défavorable du sel ont conduit à les classer en deux groupes : (i) les halophytes sont des plantes naturellement adaptées aux milieux salés (Flowers et Colmer, 2015 ; Arif, 2015) ; ils sont capables d'accumuler le sel à des concentrations élevées (Glenn et al. 1999) et les différentes phases du développement sont peu affectées ; (ii) les glycophytes sont des plantes apparemment dépourvues de bases génétiques pour une tolérance au sel (Arif, 2015) et la croissance est inhibée dès les plus faibles concentrations en sel (Rajesh et al. 1998 ; Sobrado, 1999 ; Sobrado et Ball, 1999 ; Camara et al. 2018). Selon Parks et al. (2002), cette sensibilité est due à leur incapacité d'éliminer efficacement les ions Na^+ du cytoplasme.

Physiologiquement, l'impact néfaste de la salinité se traduit par la conjonction d'un effet indirecte sur le potentiel hydrique se traduisant par une réduction de la disponibilité de l'eau pour la plante et également par la toxicité et les perturbations de la nutrition minérale induite par l'excès des ions Na^+ et Cl^- (Levigneron et al. 1995 ; Al-Karaki, 2000 ; Ben khaled et al. 2007).

La germination des graines est généralement l'étape critique dans l'établissement des semis et ainsi la détermination d'une production réussie (Munns, 2002). Sous contrainte saline, les sels agissent sur la germination des graines en réduisant leur faculté et/ou leur énergie germinative (Bayuelo-Jiménez et al. 2002 ; Mauromicale et Licandro, 2002 ; Daroui, 2012).

Les semences des glycophytes et des halophytes répondent de la même manière au stress salin, en réduisant le nombre total des graines germées et en accusant un retard dans l'initiation du processus de la germination (Lachiheb et al. 2004).

La diminution du taux de germination est variée en fonction de l'intensité du stress et la variété des plantes (Arif, 2015), et cela, pourrait également être due à : (i) un processus de dormance osmotique développé sous ces conditions de stress, représentant ainsi une stratégie d'adaptation à l'égard des contraintes environnementales (Prado et al. 2000) ; (ii) l'altération des enzymes et des hormones qui se trouvent dans la graine (Botia et al. 1998 ; Daroui et al. 2012) ; l'augmentation de la pression osmotique du milieu environnant qui diminue la vitesse d'absorption de l'eau par la graine entraînant ainsi un stress hydrique (O'Leary et Prisco, 1970a) et une inhibition de la mobilisation des réserves de la graine pour la croissance de

l'embryon (Prisco et al. 1981 ; Bouzoubaâ et El Mousadik, 2003) ; (iii) la pénétration des ions qui peuvent s'accumuler dans la graine à des doses qui deviennent toxiques (Debez et al. 2001 ; Arif, 2015). Quelque soit son origine (sol ou eau d'irrigation), l'excès de sel affecte la germination, la croissance des plantules et leur vigueur, la phase végétative, la floraison et la fructification à des degrés variables (Delgado et al. 1994 ; Cordovilla et al. 1995a ; 1995b ; 1995c), conduisant à terme des baisses de rendement et de qualité des productions (Zaman-Allah et al. 2009).

Le maintien et la régénération des arbres forestiers dans ces conditions constitue un défi. En effet, la germination peut être limitée par certains facteurs comme la prédation ou l'infestation des graines aux quels s'ajoute la salinité. Dans ce contexte, il nous a paru intéressant d'entreprendre une étude préliminaire sur l'effet de différentes concentrations en NaCl sur la germination des glands et la croissance des jeunes plants de chêne-liège provenant de deux zones différentes : El Aouana – Jijel : zone de littoral sous l'influence maritime et Hafir – Tlemcen : zone montagneuse. Une telle étude devrait permettre une meilleure connaissance de la tolérance de l'espèce à la salinité, surtout au moment de la germination, la croissance et la qualité de plants durant les premières phases de développement en pépinière.

2. Matériel et méthodes

2.1. Echantillonnage et manipulation des glands

Pour la réalisation de cette expérimentation, les glands morphologiquement matures et sains ont été récoltés en fin novembre 2019 sur deux peuplements naturels de chêne-liège appartenant à deux provenances différentes : la forêt de Hafir (Tlemcen) et la forêt domaniale d'El Aouana (Jijel). Des arbres vigoureux, indemnes de signes maladiques et présentant une glandée abondante ont été choisis pour la collecte de glands dans chaque peuplement. Afin de s'assurer de la pureté des glands récoltés, on a choisi uniquement les arbres à cime bien dégagée. Au laboratoire, le matériel végétal a subi un triage gland par gland afin d'éliminer les semences déformées, desséchées, non suffisamment mûrs ou présentant des signes d'infestation.

2.2. Mesure de la teneur en eau des glands

La teneur en eau initial des glands a été déterminée en utilisant un échantillon de 50 glands de deux provenances composées de 5 répétitions de 10 glands chacune. Les glands de chaque répétition ont été pesés pour déterminer le poids frais (PF) initial, puis séchés à l'étuve à la température réglée à 103 °C pour une durée de 17 heures (ISTA, 2009) afin de mesurer le

poids sec (PS). La teneur en eau initiale des glands de chaque provenance, rapportée à la moyenne des 5 répétitions, a été calculée par rapport au poids frais selon la formule ci-après.

$$TE \% = 100 \times (PF - PS) / PF$$

2.3. Préparation de différentes concentrations saline

Le sel utilisé est le NaCl qui représente généralement le sel soluble prédominant dans nos eaux d'irrigation et dans nos sols affectés par les sels (Snoussi et Halitim, 1998 ; Nabi, 2009). Il est caractérisé par une très grande solubilité dans l'eau, un point de fusion à 801°C, un point d'ébullition à 1 465°C et une densité de 2,16 g/cm³ à 25°C (Vllmann, 2002 in Ounoughi, 2006).

Quatre concentrations du NaCl ont été préparées par l'addition des différentes doses croissantes de chlorure de sodium à l'eau distillée, C1 (2,5 g/l), C2 (5 g/l), C3 (10 g/l), C4 (15 g/l) et un témoin composé unique de l'eau distillée C0 (0 g/l). Le choix des concentrations salines a été fait en se basant sur des données bibliographiques et des études récentes.

2.4. Effet du sel sur la germination des glands

L'effet de différentes concentrations en NaCl, sur le taux de germination des glands a été évalué sur un échantillon de 225 glands par provenance (15 glands × 3 répétitions par concentration et par provenance). Les glands ont été mis séparément dans des boîtes de pétri en verre (2,5 cm d'épaisseur et de 14 cm de diamètre), tapissées d'une double couche de papier filtre humidifié jusqu'à saturation par l'eau distillée ou par solution saline, puis placés dans une étuve obscure réglée à une température de 25 °C. Un gland est considéré germé lorsque la radicule perce le péricarpe et s'allonge au moins 2 mm et montre un géotropisme positif (Côme et Corbineau, 1998). Pour chaque concentration saline testée, le comptage de glands germés est effectué tous les jours jusqu'à la fin de l'essai prédéfinie à 30 jours. Les données recueillies sont utilisées pour calculer : (i) le Taux de germination final (G %) correspondant au nombre de glands germés à la fin de l'essai par rapport au nombre de glands mis à germer ; (ii) Temps de latence TL (jours), intervalle de temps entre le semis et les premières graines germés ; (iii) Temps moyen (jours) de germination de 50% des glands ; (iv) Durée de la germination (jours) ; (v) Taux moyen de germination en temps moyen (T50%) ; (vi) Vitesse de germination.

2.5. Effet du sel sur la croissance et le développement de la radicule au laboratoire

Pour tester l'effet des différentes concentrations en NaCl sur la croissance et le développement de la radicule, 150 glands germés (10 glands × 3 répétitions par concentration

et par provenance), dont la racine mesure 1 à 1,5 cm, ont été placées dans des tubes à essais en verre (15 cm de long et 1,8 cm de diamètre), contenant du milieu de culture à base d'eau distillée additionné de NaCl à des concentrations de 0 ; 2,5 ; 5 ; 10 et 15 g/l. Les tubes sont placés par la suite dans une étuve réglée à température de 25°C (figure 24). Les paramètres étudiés à la fin de cette expérimentation sont : (i) La longueur de la racine principale ; (ii) La longueur de la zone de ramification racinaire.



Figure 24. Glands de chêne-liège en germination plongés dans des solutions salines de différentes concentrations en NaCl.

2.6. Effet du sel sur la croissance racinaire des semis en pépinière

La deuxième partie de cette étude a été effectuée au niveau de la pépinière de la conservation des forêts de la wilaya de Tlemcen. Afin de déceler l'effet de la concentration saline sur la croissance et la qualité du plant, le semis a été effectué à raison d'un gland par conteneur WM de 400 cm³ remplis avec du terreau. 30 glands (10 glands × 03 répétitions), 150 glands au total ont été utilisés par provenance pour les différentes concentrations testées. Pour garder le substrat humide, l'arrosage par les solutions salines a été appliqué tous les deux jours et se répète selon les besoins. Pour chaque concentration saline testée, le comptage des plantules ayant levées commence à l'observation des premiers plants qui émergent du substrat, puis une fois par semaine. Le suivi de la croissance des semis a duré 4 mois. Concernant cette étape, les paramètres mesurés sont : pour la partie aérienne, les hauteurs (H, cm), les diamètres au collet (D, mm) et le quotient de robustesse H/D, pour la partie souterraine, la longueur de la racine pivotante (cm) a été pris en considération.

2.7. Analyse statistique

Toutes les analyses ont été effectuées par les logiciels Excel 2007 et R 2.2.0. Les valeurs moyennes des paramètres suivis glands et des plants ont été examinées par analyse de variance au niveau inter et intra-provenance. Un test de *Tukey*, au seuil de significativité de 5% a été appliqué pour identifier les différences significatives entre les moyennes des paramètres étudiés.

3. Résultats

3.1. Teneur en eau

À la récolte, deux groupes de glands différents par leur teneur en eau se distinguent : un premier groupe formé par les glands appartenant à la provenance El Aouana (Jijel) avec une teneur en eau initiale moyenne de 40,05% et un deuxième groupe comprenant les glands d'origine de Hafir (Tlemcen) avec une teneur en eau de 38,3 %.

3.2. Effet de la salinité sur le taux de germination des glands

Le suivi de la germination des glands de chêne-liège sous différentes concentrations en NaCl, a montré un effet variable du stress salin en fonction de la dose testée et de la provenance étudiée. En effet, l'ensemble des glands ont germé avec un taux égal à 80% pour la dose de 5 g/l et ce, pour les deux provenances testées. Cependant à partir de la concentration de 10 g/l, ce taux est inférieur à 60% pour la provenance de Tlemcen, alors qu'il atteint 70% pour la provenance de Jijel. Avec la forte concentration saline testée (15 g/l de NaCl) une nette régression du taux germinatif a été observée chez les glands des deux provenances. Les pourcentages de réduction par rapport aux témoins ont été de l'ordre de 40% pour la provenance de Jijel et 50% pour celle de Tlemcen considérée comme la plus sensible au chlorure de sodium (figure 25).

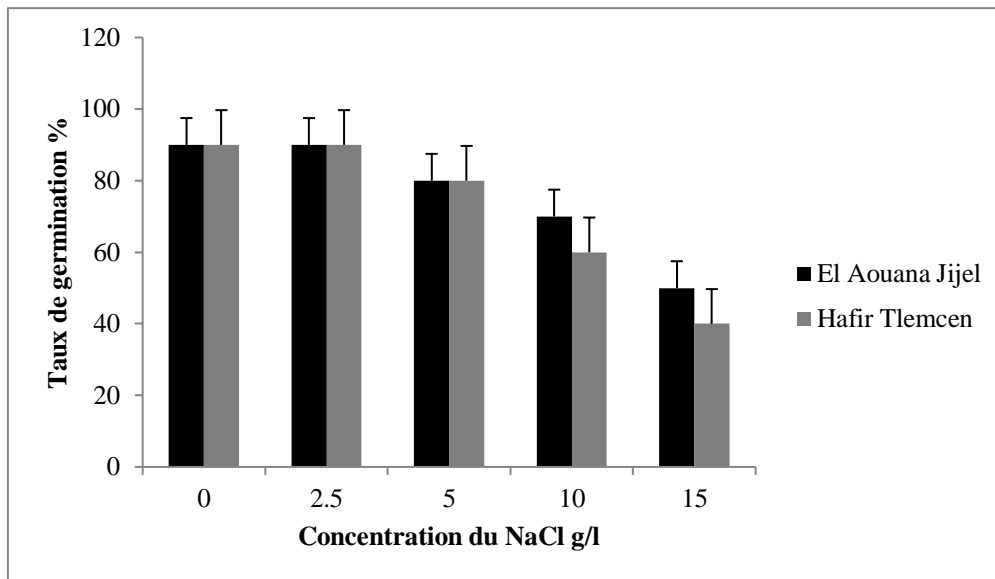


Figure 25. Effet de la concentration saline (NaCl) sur le taux de germination des glands de chêne-liège issus de deux provenances (El Aouana – Jijel et Hafir – Tlemcen).

3.3. Effet de la salinité sur les paramètres germinatifs des glands

L'analyse du tableau 11, montre que, les glands d'origine de la forêt d'El Aouana ont un temps de latence plus au moins court par rapport à ceux provenant de Hafir et qui varie entre 24 heures pour les concentrations salines (0 ; 2,5 et 5 g/l) et 3 jours pour les deux autres concentrations testées (10 et 15 g/l). Par contre, pour la provenance de Tlemcen, l'intervalle de temps entre le semis et les premiers glands germés soumis aux concentrations de 5 ; 10 et 15 g/l est égal deux à trois fois celui enregistré avec le témoin et la dose de 2,5 g/l.

D'un autre côté, la provenance de Jijel répond aux différentes concentrations de NaCl par une réduction de la durée de germination pour les concentrations inférieures ou égales à 5 g/l. Au-delà de cette concentration une augmentation importante est enregistrée, Ainsi la durée de germination la plus longue (21 jours) a été enregistrée avec la concentration saline de 15 g/l. Chez la provenance de Tlemcen, au fur et à mesure que la concentration du sel augmente, l'intervalle de germination devient plus long, cependant, la durée la plus longue (23 jours) a été enregistrée chez les glands traités par 10 g/l de NaCl.

Un stress salin modéré (2,5 et 5 g/l) a engendré une diminution du temps moyen de germination des glands de 50% chez la provenance de Jijel. Au-delà de 5 g/l, le temps de germination augmente pour atteindre 10,5 jours pour le lot de glands soumis à la concentration saline de 15 g/l. En ce qui concerne la provenance de Tlemcen, ce même paramètre est corrélatif avec la sévérité du stress salin. En effet, l'augmentation de la concentration en NaCl engendre une augmentation du temps moyen de germination. Par

ailleurs, le temps moyen de germination le plus long (11,5 jours) a été enregistré avec la concentration saline de 15 g/l.

Chez les glands d'origine de Jijel, le stress salin a entraîné une nette diminution du taux de germination en temps moyen (T50%), chez les deux concentrations (10 et 15 g/l) par rapport au témoin. En effet, le taux le plus faible (30%) a été enregistré avec la dose de 15 g/l. En outre, pour les glands d'origine de Tlemcen, l'effet négatif de la concentration saline est marqué surtout pour les doses de 5 ; 10 et 15 g/l. Le taux germinatif le plus faible (10%) a été obtenu avec la concentration de 15 g/l NaCl.

Nous signalons que la vitesse de germination est accélérée chez les lots de glands témoins et ceux soumis aux concentrations salines inférieures ou égales à 5 g/l et ce pour les deux provenances étudiées.

Tableau 11. Effet de la concentration saline en NaCl sur les paramètres germinatifs des glands de chêne-liège provenant d'El Aouana – Jijel et Hafir – Tlemcen.

<i>Provenances</i>	<i>El Aouana-Jijel</i>					<i>Hafir-Tlemcen</i>				
	<i>Concentrations du NaCl (g/l)</i>					<i>Concentrations du NaCl (g/l)</i>				
	0	2,5	5	10	15	0	2,5	5	10	15
<i>Paramètres germinatifs</i>										
<i>Temps de latence TL (jours)</i>	1	1	1	3	3	3	3	6	7	9
<i>Durée de la germination (jours)</i>	8	10	12	17	21	15	16	19	22	23
<i>Temps moyen (jours) de germination de 50% des glands</i>	4	5	6	8,5	10,5	7,5	8	9,5	11	11,5
<i>Taux moyen de germination en temps moyen (T50%)</i>	70	60	70	30	30	40	40	40	20	10
<i>Vitesse de germination</i>	7,07	7,7	7,88	3,96	3,07	6,37	6,51	5,59	3,66	2,25

3.4. Effet du stress salin sur la taille des jeunes semis

À la fin du cycle d'élevage les plants réagissent aux différentes concentrations en NaCl par une réduction significative de l'appareil végétatif aérien, notamment la croissance en hauteur. Cette régression de taille est d'autant plus importante que la concentration en sel est élevée (figure 26). En effet, les taux de réduction par rapport aux témoins varient avec la concentration saline appliquée et la provenance de glands étudiée.

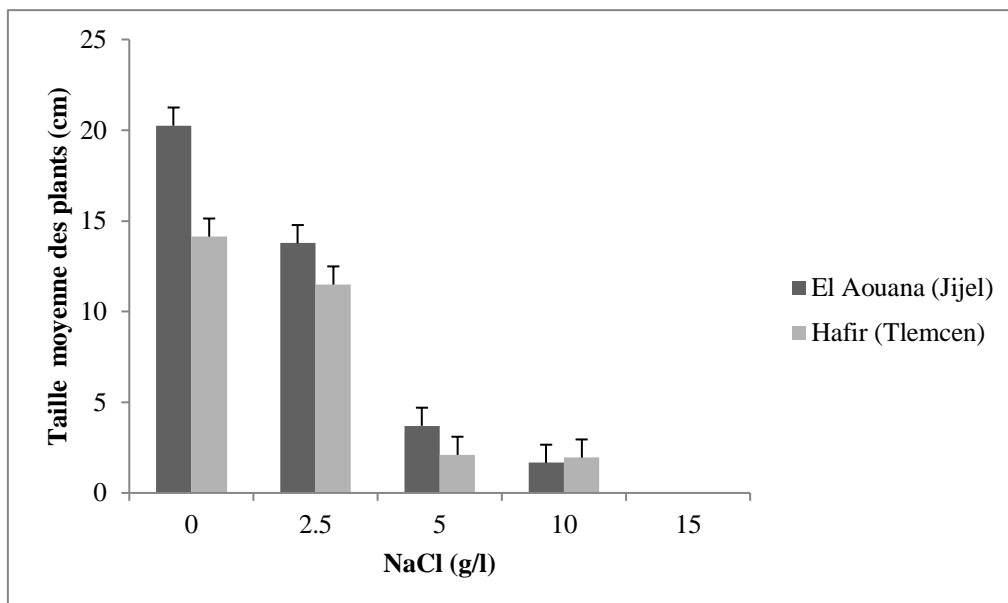


Figure 26. Effet de la concentration saline en NaCl sur la taille moyenne des plants de chêne-liège provenant d'El Aouana – Jijel et Hafir – Tlemcen.

3.5. Effet du stress salin sur la croissance en diamètre des jeunes semis

Pour la croissance radiale, une légère différence a été enregistrée chez les plants soumis aux concentrations salines de 2,5 ; 5 et 10 g/l, par rapport aux témoins au niveau inter et intra-provenance (figure 27).

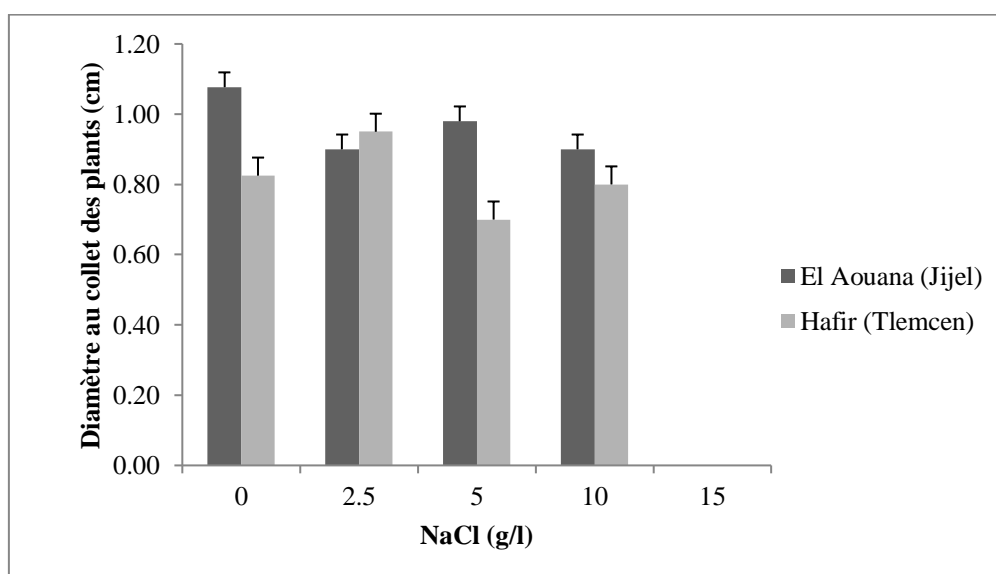


Figure 27. Effet de la concentration saline en NaCl sur le diamètre moyen au collet des plants de chêne-liège provenant d'El Aouana – Jijel et Hafir – Tlemcen.

3.6. Effet du stress salin sur l'élongation de la racine pivotante

Sur le plan élongation de la racine, nos résultats montrent qu'un stress salin modéré de 2,5g/l a réduit significativement la longueur de la racine pivotante chez les deux provenances étudiées. En effet, les taux de réduction par rapport au témoin varient de 39 à 96 % et de 20 à 92 %, chez les plants d'origine El Aouana et ceux provenant de Hafir respectivement. Pour un stress salin plus sévère de 10 et 15 g/l, la croissance racinaire est sérieusement affectée (figures 28, 29, 30 et 31).

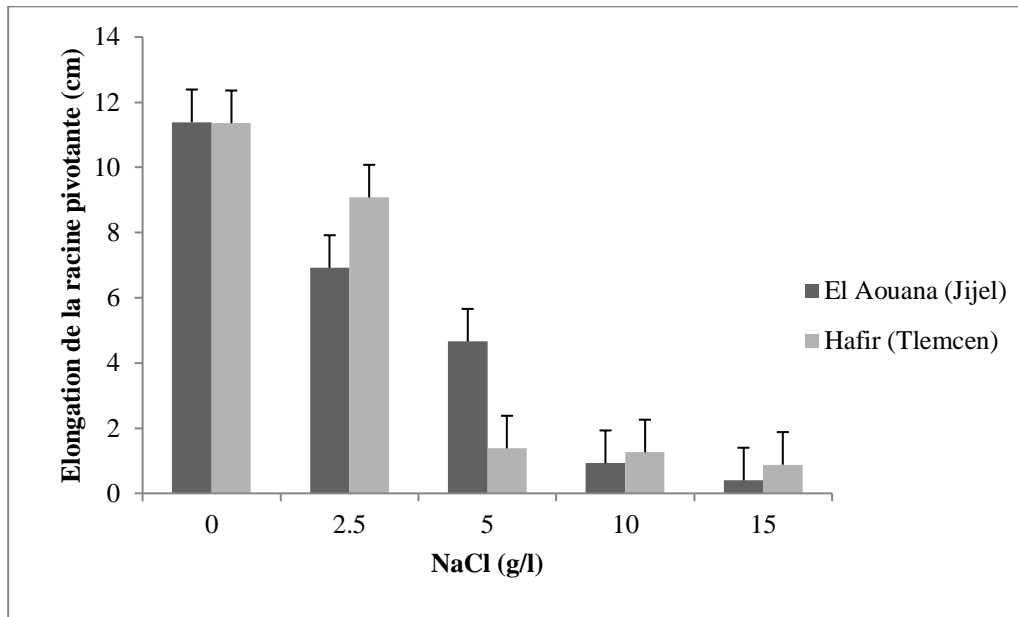


Figure 28. Effet de la concentration saline en NaCl sur l'élongation de la racine pivotante des plants de chêne-liège provenant d'El Aouana – Jijel et Hafir – Tlemcen.

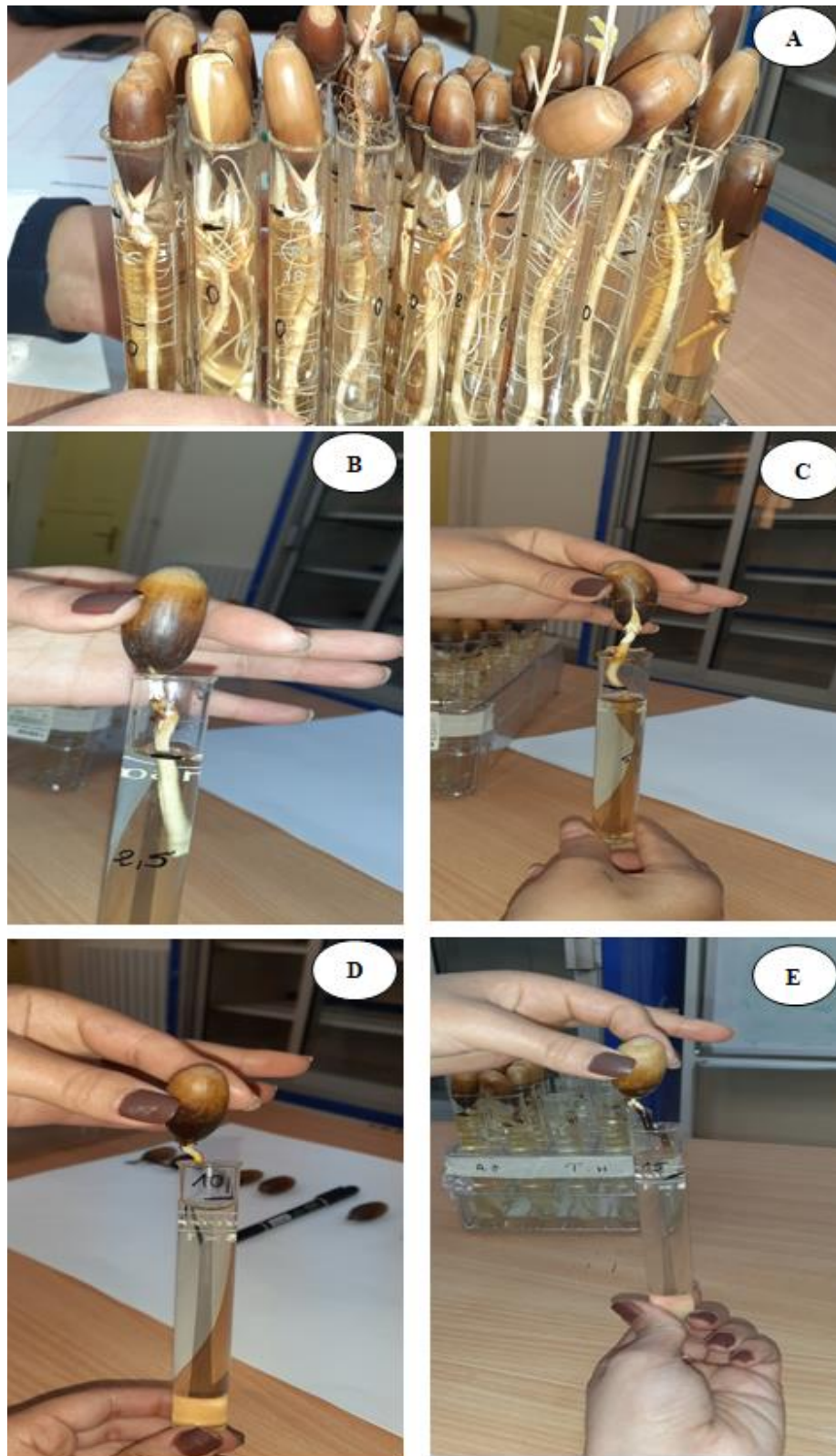


Figure 29. Glands de chêne-liège en germination plongés dans des solutions salines appartenant aux différentes concentrations de NaCl : (A) 0 g/l ; (B) 2,5 g/l ; (C) 5 g/l ; (D) 10 g/l ; (E) 15 g/l.



Figure 30. Glands de chêne-liège en germination soumis à différentes concentrations de NaCl : (A) 0 g/l ; (B) 2,5 g/l ; (C) 5 g/l ; (D) 10 g/l ; (E) 15 g/l. Les flèches blanches indiquent les lésions nécrotiques développées sur les racines pivotantes, tandis que les flèches rouges montrent les pousses aériennes et les flèches jaunes indiquent la ramification racinaire. Provenance, El Aouana-Jijel.

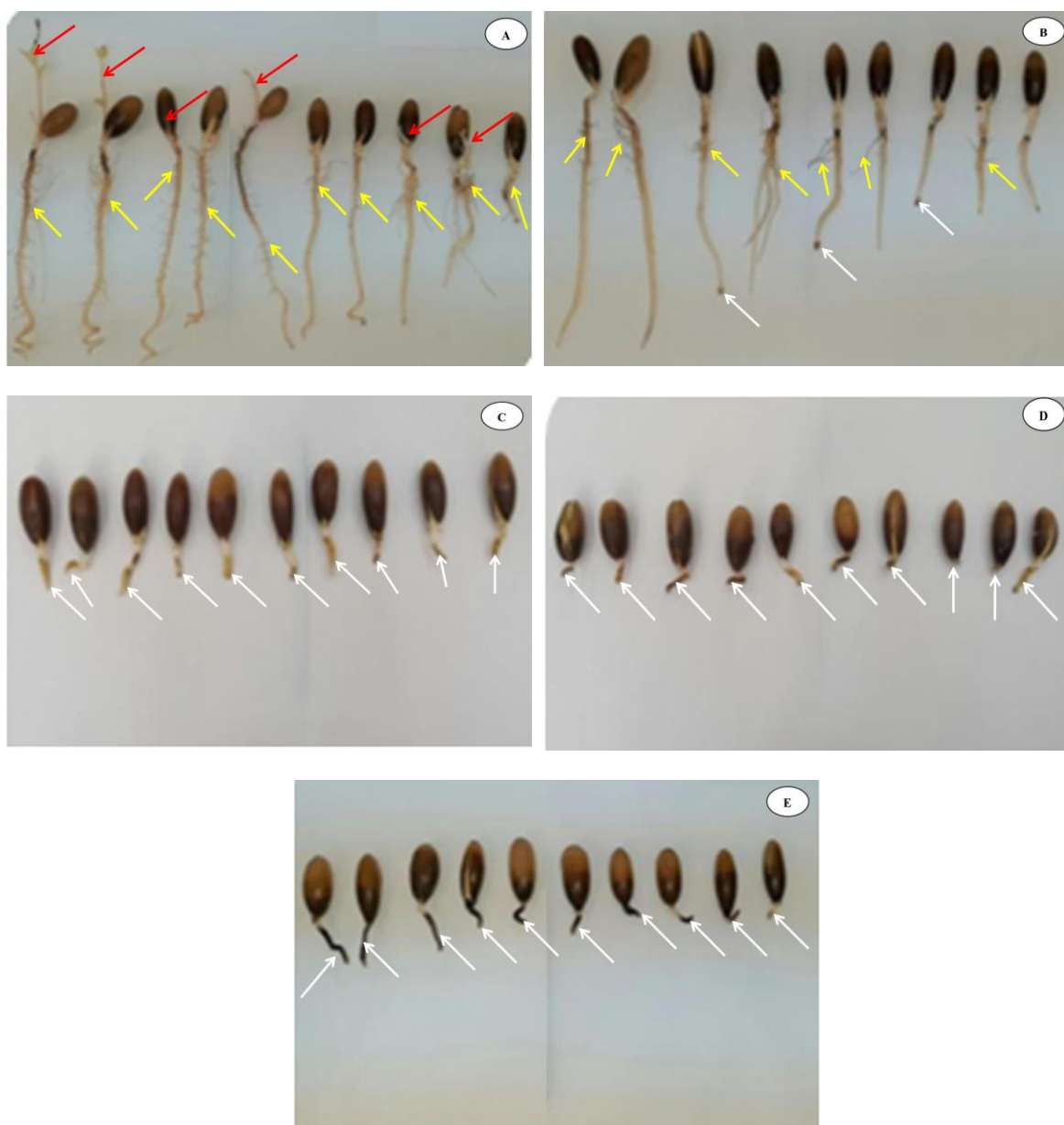


Figure 31. Glands de chêne-liège en germination soumis à différentes concentrations de NaCl : (A) 0 g/l ; (B) 2,5 g/l ; (C) 5 g/l ; (D) 10 g/l ; (E) 15 g/l. Les flèches blanches indiquent les lésions nécrotiques développées sur les racines pivotantes, tandis que les flèches rouges montrent les pousses aériennes et les flèches jaunes indiquent la ramification racinaire. Provenance, Hafir-Tlemcen.

3.7. Effet du stress salin sur la longueur de la zone de ramification racinaire

L'analyse de la figure 32, montre l'effet significatif de la salinité sur la croissance de la zone de ramification racinaire. Cet effet est apparent à partir de la concentration en NaCl de 2,5 g/l. au-delà de cette dose, le sel bloque complètement la croissance de la zone de ramification racinaire.

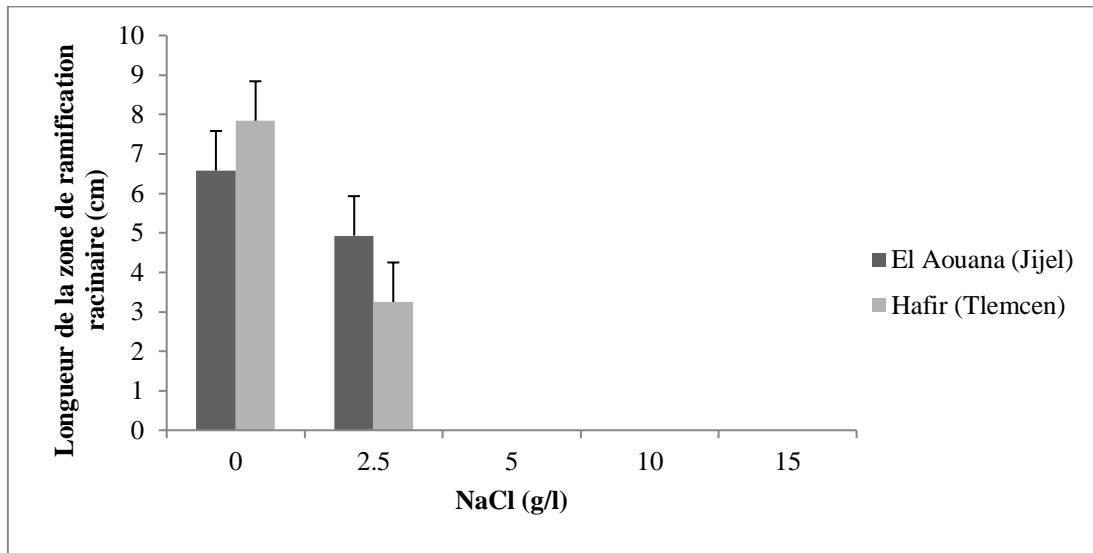


Figure 32. Effet de la concentration saline en NaCl sur la longueur moyenne de la zone de ramification racinaire des plants de chêne-liège provenant d'El Aouana – Jijel et Hafir – Tlemcen.

3.8. Effet du stress salin sur la croissance racinaire des plants cultivés en pépinière

Les mesures effectuées sur le système racinaire à la fin de l'expérimentation ont montré qu'un arrosage des plants avec de l'eau salée contenant différentes concentrations en NaCl, a influencé de façon négative la croissance racinaire. Les taux de régression croissent avec l'augmentation de la concentration saline. Chez la provenance d'El Aouana, la longueur racinaire passe de 42,15 cm chez les plants non-stressés (témoins) à seulement 9,6 cm mesurée chez les plants traités par l'eau salée à la dose de 10 g/l. Sous la même dose, le système racinaire des plants issus de Hafir a mesuré 18,1 cm alors que celui des plants témoins ont affiché une longueur racinaire de 40 cm (figure 33).

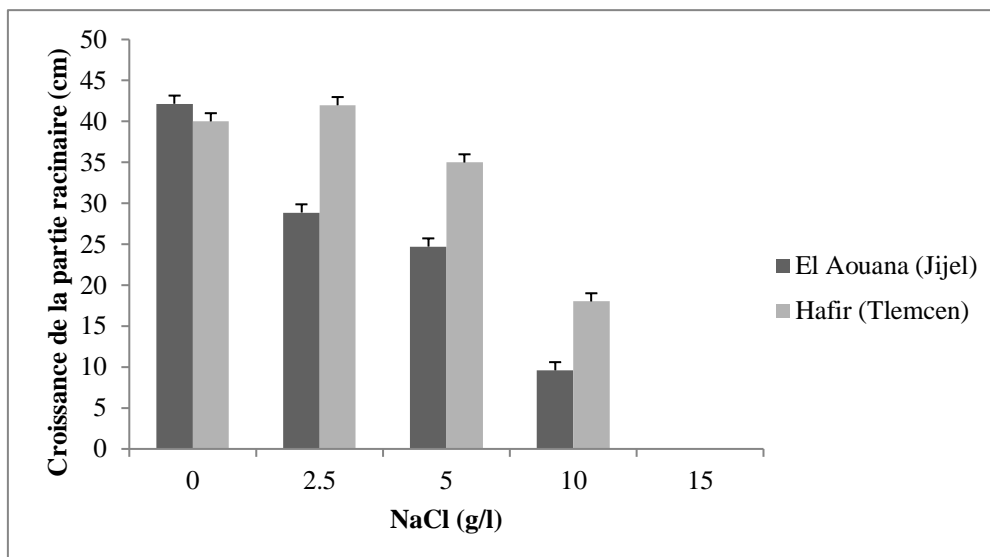


Figure 33. Effet de la concentration saline en NaCl sur la croissance racinaire des semis de chêne-liège provenant d'El Aouana – Jijel et Hafir – Tlemcen

3.9. Effet du stress salin sur le nombre de feuille par plant

Ce paramètre constitue un indicateur sensible de la tolérance des jeunes plants aux stress de l'environnement. En conditions témoins (sans NaCl), le nombre moyen de feuilles par plant a varié de 10 à 15 chez la provenance de Hafir et celle d'El Aouana respectivement. Le sel a réduit significativement la production de feuilles chez le chêne-liège. La réduction foliaire est importante au fur et à mesure que la dose saline augmente. Aucun développement de feuilles n'a été enregistré au-delà de la concentration saline de 5 g/l et ce pour les deux provenances étudiées (figures 34, 35 et 36).

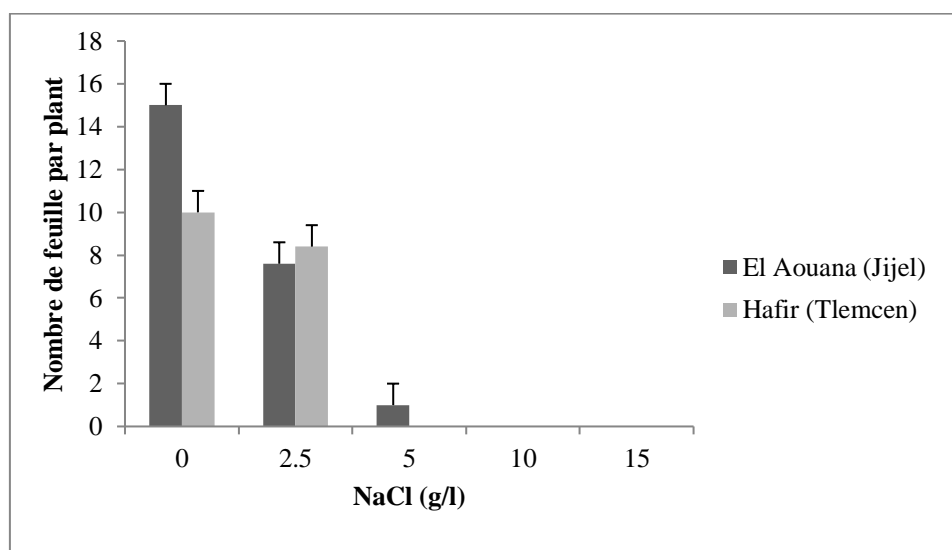


Figure 34. Effet de la concentration saline en NaCl sur le nombre moyen de feuilles par plants de chêne-liège provenant d'El Aouana – Jijel et Hafir – Tlemcen.

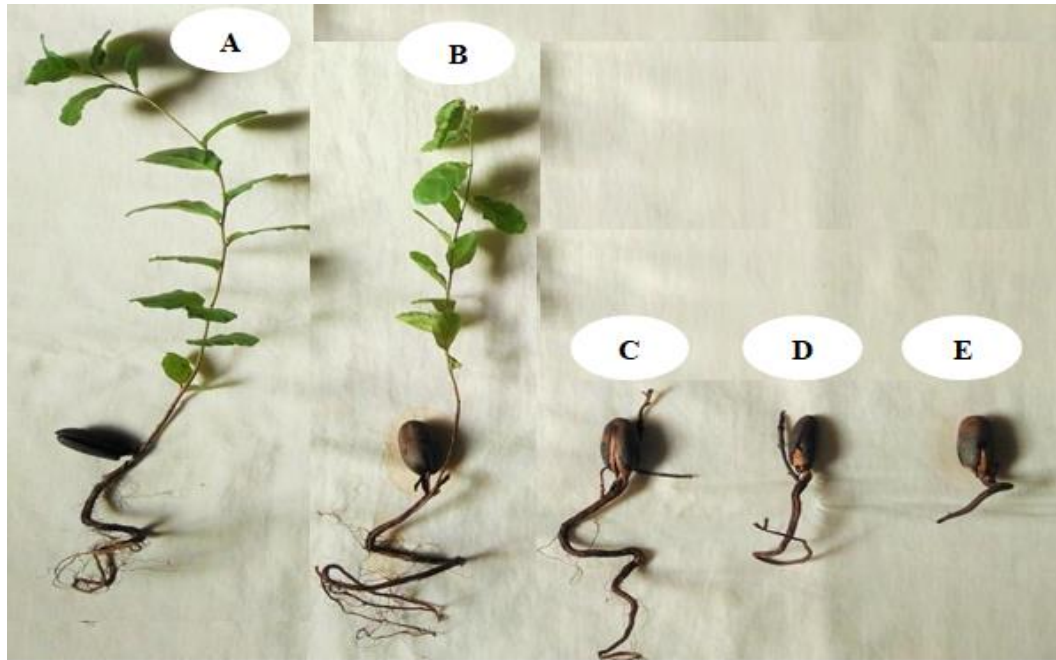


Figure 35. Variation de la croissance des plants de chêne-liège sous l'effet des différentes concentrations salines : (A) 0 g/l ; (B) 2,5 g/l ; (C) 5 g/l ; (D) 10 g/l ; (E) 15 g/l. Provenance, El Aouana (Jijel).

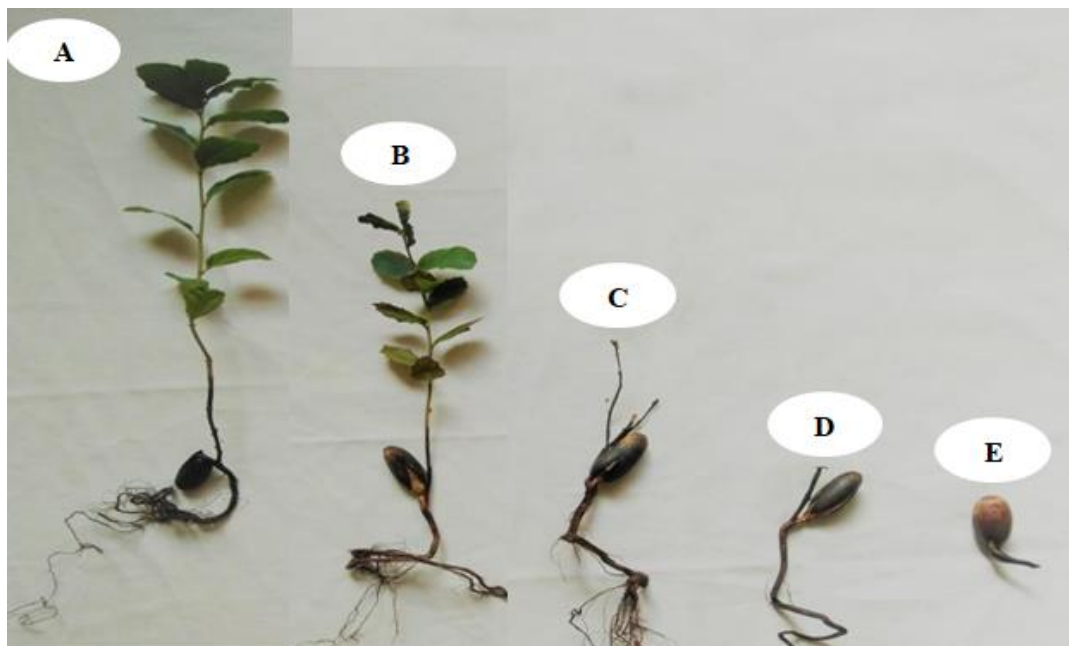


Figure 36. Variation de la croissance des plants de chêne-liège sous l'effet des différentes concentrations salines : (A) 0 g/l ; (B) 2,5 g/l ; (C) 5 g/l ; (D) 10 g/l ; (E) 15 g/l. Provenance, Hafir (Tlemcen).

4. Discussion

Les résultats obtenus au cours de cette étude montrent que les glands de chêne-liège germent mieux en absence du sel ou en présence de doses modérées comme 2,5 g/l. Au-delà de cette concentration, une diminution des taux de graines germées se produit. Cette réduction est nettement marquée à partir de 10 g/l de NaCl, alors qu'une dose de 15 g/l entraîne une diminution de 50% de la capacité germinative des glands chez les deux provenances étudiées.

Les mêmes effets ont été observés chez quelques espèces d'*Atriplex* (Bouda et Haddioui, 2011). Ces auteurs ont signalé la réduction du taux de germination en réponse au stress salin dès que la concentration en NaCl dépasse 5 g/l. Dans une étude similaire sur les graines d'*Atriplex halimus*, Belkhodja et Bidai (2004), ont signalé une inhibition de la germination à (600 meq de NaCl). Les mêmes résultats ont été obtenus par RedaTazi et al. (2001), sur la culture in vitro de l'arganier soumis à un stress salin de 7 g/l. D'autres études réalisées sur les graines de quelques plantes herbacées, ont montré un effet dépressif du sel sur la germination au fur et à mesure que la dose de NaCl augmente chez *Vicia faba* (Benidire et al. 2015), l'orge (Kadri et al. 2009 ; Djerah et Oudjehih, 2015), et les trois légumineuses : *Phaseolus vulgaris*, *Glycine max* et *Vigna unguiculata* (Camara et al. 2018). Cette diminution est due selon Othman et al. (2006), à la réduction de l'utilisation des réserves des grains. Elle serait due aussi à un processus de dormance osmotique développé sous ces conditions de stress, représentant ainsi une stratégie d'adaptation à l'égard des contraintes environnementales (Prado et al. 2000).

Par ailleurs, les résultats obtenus par d'autres auteurs, Benmahiou et al. (2009) ne montrent aucun effet du stress salin sur la germination des semences de *Pistacia vera* et le taux de germination été de 100%, pour l'ensemble des traitements salins appliqués. D'autres études sur l'*Acacia tortilis*, montrent une capacité de germination des semences sous une forte concentration de NaCl allant jusqu'à 22 g/l (Jaouadi et al. 2010). D'après, Ndour et Danthu (1998), les acacias africains : *Acacia raddiana* et *Acacia senegal*, sont très tolérantes au sel, et elles parviennent même à germer en présence d'une concentration proche de celle de l'eau de mer (35 g/l). En plus, Radhouane (2008), confirme qu'un stress salin à une concentration modérée peut améliorer la germination des semences de certaines espèces, c'est le cas de *Pennisetum glaucum* où l'augmentation a été de l'ordre de 12% par rapport au témoin.

Concernant l'effet de la salinité sur la croissance des plants de chêne-liège, nos résultats ont montré une nette variation de la longueur des plants en fonction de la concentration en NaCl

appliquée et la provenance étudiée. Les deux provenances se manifestent par une réduction de la croissance en hauteur dès la plus faible concentration saline testée (2,5 g/l NaCl), d'autant plus importante que la concentration en sel est élevée. Conformément à ce que Benidire et al. (2015) ont remarqué chez les plantules de *Vicia faba*, l'effet du chlorure de sodium a été significatif au-delà de 50 mM. De même, Ly et al. (2014) signalent que les plants de *Jatropha curcas*, répondent aux différentes concentrations de NaCl par une réduction de la taille des plants pour les concentrations supérieures ou égales à 4 g/l. Nos résultats sont aussi en accord avec ceux obtenus par Daroui et al. (2012) sur la croissance in vitro du *Washingtonia filifera*, dont la croissance en hauteur a diminué de l'ordre de 19,44% pour une concentration de NaCl de 5 g/l par rapport au témoin. Ce constat a été aussi fait par Reda Tazi et al. (2001), sur l'arganier *Argania spinosa*, soumis à un stress salin in vitro, où les concentrations élevées en NaCl entravent d'une façon significative la croissance et la productivité de l'appareil végétatif, et par Benmahioul et al. (2009) sur la croissance en hauteur de *Pistacia vera*. Des effets similaires ont été remarqués sur la croissance en hauteur des plantes soumises à une contrainte saline : le piment, *Capsicum annum* (Ibn Maaouia-Houimli et al. 2011), le blé et *Jatropha curcas* (Mrani Alaoui et al. 2013), la coriandre, *Coriandrum sativum* (Amara et Benrima, 2017), les légumineuses, *Phaseolus vulgaris* ; *Glycine max* ; *Vigna unguiculata* (Camara et al. 2018) et les acacias (Chérifi et al. 2017).

La réduction de la taille de l'appareil végétatif aérien est une stratégie d'adaptation chez certaines plantes pour faire face aux différents stress abiotiques (Zhu, 2001). Elle peut aussi être expliquée par l'accumulation de certains régulateurs de croissance dans les tissus végétaux, notamment l'acide abscissique et les cytokinines induites par le sel (Kuiper et al. 1990 ; Benmahioul et al. 2009 ; Daroui et al. 2012 ; Ly et al. 2014), ou par une augmentation de la pression osmotique provoquée par NaCl, ce qui bloque l'absorption de l'eau par les racines (Chérifi et al. 2017).

La croissance radiale chez les plants des deux provenances étudiées reste insensible à l'effet du sel, quelque soit la concentration testée. Ly et al. (2014) et Chérifi et al. (2017), ont constaté une diminution significative de la croissance du diamètre au collet, chez deux espèces *Jatropha curcas* et *Acacia*, respectivement avec l'augmentation de la concentration saline.

La tendance à l'organogénèse foliaire des plants a été influencée d'une manière très significative par les différentes concentrations du sel, ce qui a été déjà signalé chez d'autres espèces, notamment le pistachier fruitier (Benmahioul et al. 2009).

Pour la croissance racinaire, les résultats obtenus indiquent un effet négatif du stress salin pour les deux provenances étudiées. L'action du sel est d'autant plus marquée que la concentration appliquée est élevée. Elle se manifeste principalement par l'apparition de nécrose au niveau des racines des plants soumis aux concentrations élevées de 10 et 15 g/l, signe d'une toxicité résultant de l'excès d'accumulation du sel. Perez et Tambelini (1995) ont signalé que les concentrations salines élevées, particulièrement le chlorure de sodium, peuvent inhiber l'activité enzymatique des graines et retarder la sortie et le développement de la racine. Cependant, Radhouane (2008) signale une nette amélioration de la longueur racinaire chez *Pennisetum glaucum*, de l'ordre de 21% sous un stress salin modéré et de 51% sous un stress salin sévère. Benmahioul et al. (2009), confirment eux-aussi l'amélioration significative de l'allongement de la racine chez le pistachier fruitier qui passe de 3,4 cm pour le témoin à 7,3 cm pour les concentrations salines de 42,8 et 85,5 mM.

L'effet de la salinité sur la croissance du système racinaire dépend de différentes concentrations du sel et de la provenance. En effet, chez les plants issus des glands d'El Aouana, nous avons constaté une nette diminution de la croissance par rapport à ceux de Hafir. Un effet similaire a été remarqué par Camara et al. (2018) sur trois légumineuses *Phaseolus vulgaris*, *Glycine max* et *Vigna unguiculata*. Par contre, Daroui et al. (2012) ont signalé un comportement différent de *Washingtonia filifera* vis-à-vis du sel où la présence de 5 g/l a engendré une augmentation de l'ordre 48,09% par rapport aux témoins.

5. Conclusion

Le présent travail avait comme objectif l'étude de l'influence du chlorure de sodium sur la germination des glands et la croissance des plants de chêne-liège. Les résultats obtenus montrent que les effets de la salinité varient en fonction de la concentration en NaCl appliquée et la provenance étudiée.

Dans un premier temps, l'étude réalisée au laboratoire a permis de montrer que les glands des deux provenances étudiées sont capables de germer sous stress salin (NaCl), même en présence de la plus forte concentration testée (15 g/l). Le ralentissement du taux de germination est significatif dès que les concentrations salines atteignent 5 et 10 g/l respectivement chez la provenance de Jijel et celle de Tlemcen. En tenant compte des résultats

obtenus pour l'ensemble des paramètres de germination étudiés, la provenance de Tlemcen est considérée comme la plus sensible au stress salin que celle de Jijel. De plus, la salinité a exercé un effet dépressif sur la croissance et le développement racinaire et ce, pour les deux provenances étudiées.

Dans un second temps, l'étude réalisée en pépinière a montré que la croissance de l'appareil végétatif aérien des deux provenances (Jijel et Tlemcen) est la plus affectée par l'augmentation du stress salin. Par contre, l'influence sur la croissance radiale reste faible, surtout sous un stress modéré (2,5 g/l NaCl). En revanche, l'augmentation de la concentration saline a nettement réduit la longueur du système racinaire des plants par rapport aux témoins.

À la lumière de ces résultats, nous pouvons déduire qu'au-delà de 2,5 g/l de NaCl, les différentes caractéristiques germinatives des glands et les différents paramètres de croissance des plants de chêne-liège sont affectés par le stress salin. Par ailleurs, il serait intéressant de confirmer ces résultats obtenus, par des études comparatives sur d'autres provenances des glands de la même espèce.

**CHAPITRE VI. INFLUENCE DES AGENTS
PATHOGENES DU GENRE *PHYTOPHTHORA*, SUR
LA CROISSANCE ET LE DEVELOPPEMENT DES
RACINES DE JEUNES GERMINATIONS**

Chapitre VI. Influence des agents pathogènes du genre *Phytophthora*, sur la croissance et le développement des racines de jeunes germinations.

Résumé

La durabilité des subéraies est menacée en raison du processus de régression sévère, du au changement climatique et au manque de régénération naturelle. Dans la plupart des régions méditerranéennes, cette régression a été associée à des agents pathogènes du genre *Phytophthora*.

La sensibilité des glands en germination d'origine d'El Aouana (Jijel) et de Hafir (Tlemcen) aux infections par *Phytophthora*, testée par trempage de la racine pivotante en croissance dans une suspension de zoospores, a montré que les trois espèces (*Phytophthora cinnamomi*, *Phytophthora multivora*, *Phytophthora quercina*), sont capables de provoquer une réduction significative du développement de la racine pivotante et même arrêter sa croissance, ce qui peut influencer la tolérance des semis aux sécheresses estivales.

Mots clés : Subéraie, régénération, germination des glands, agent pathogène, développement racinaire, *Phytophthora*.

1. Introduction

En régions méditerranéennes, les forêts de chêne-liège sont les écosystèmes les plus importants. Ils abritent une riche biodiversité d'endémismes et représentent une source importante de revenus dérivés de la production de liège (Marañón et al. 1999 ; Campos et al. 2008). Cependant, la durabilité de ces écosystèmes est menacée en raison d'un processus de déclin sévère, du au changement climatique et au manque de régénération naturelle. En outre, au cours de ces dernières décennies, des événements de mortalité des arbres se sont produits avec une fréquence croissante dans plusieurs forêts de chêne-liège du bassin méditerranéen, contribuant à une dégradation supplémentaire de ces forêts (Brasier, 1992 ; Franceschini et al. 1999 ; Costa et al. 2010).

Le dépérissement du chêne-liège est communément considéré comme une maladie multifactorielle dans laquelle interviennent de nombreux facteurs biotiques et abiotiques en interaction, tels que la sécheresse, le gel, les insectes ravageurs et les agents pathogènes,

variables en type, intensité et fréquence, même au niveau du site (Ragazzi et al. 1995 ; Moreira et Martins, 2005 ; Linaldeddu et al. 2009 ; In'acio et al. 2011).

L'observation des symptômes du dépérissement et sa distribution sur le terrain ont suggéré une maladie des racines causée par un organisme pathogène oomycète transmis par le sol et l'eau. En 1991, Brasier et ses collaborateurs ont isolé l'oomycète *Phytophthora cinnamomi* lors d'une étude des sites en dépérissement en Espagne et ont suggéré que ce pathogène était un facteur majeur de la mortalité rapide des chênes en Espagne et au Portugal (Brasier, 1992 ; 1996).

À cette époque et depuis, plusieurs autres pathogènes et ravageurs ont été associés au déclin du chêne-liège, variant dans leur agressivité envers les arbres (Jiménez et al. 2005 ; Sousa et al. 2007). Bien que leur implication dans la mortalité des arbres puisse être localement pertinente, avec un accent mis sur les Botryosphaeriaceae en Espagne (Luque et Girbal, 1989), seul *P. cinnamomi* a été associé à l'ensemble des foyers de mortalité survenus en Europe du Sud depuis les années 1980 (Brasier, 1993 ; Robin et al. 1998 ; Sánchez et al. 2002 ; Moreira et Martins, 2005 ; Scanu et al. 2013) (figure 37).

Il a été démontré qu'un nombre important de facteurs associés influe sur l'incidence et la gravité de *Phytophthora*, notamment les sécheresses récurrentes non saisonnières, les graves inondations estivales, la pollution atmosphérique, les attaques d'insectes xylophages et les champignons phytopathogènes responsables de chancres et de taches de sève (Moreira et Martins, 2005). Dans les forêts atteintes, soit les arbres meurent rapidement en une ou deux saisons, en particulier au début de l'été après les pluies d'hiver ou au début de l'automne après la saison sèche, soit un déclin plus chronique se produit.

Les symptômes caractéristiques du dépérissement sont l'amincissement de la couronne dû à l'abscission anormalement accrue des rameaux, la décoloration ou le jaunissement des feuilles, la réduction de la taille des feuilles, les pousses épicromiques et la nécrose progressive des racines nourricières fines (Brasier, 1996 ; Robin et al. 1998 ; Scanu et al. 2013). Une nécrose extensive de l'écorce du collet et des plus grosses racines est parfois observée sur des arbres situés dans des sols plus profonds, plus humides ou actuellement mouillés. Ces différents symptômes ne se produisent pas nécessairement de manière synchrone et peuvent varier dans leur degré d'expression. Au cours de l'évolution progressive du dépérissement, une partie de la couronne ou l'arbre entier meurt. Ce dépérissement peut toucher des arbres isolés ou des groupes d'arbres au sein de peuplements, de parties de

peuplements et de peuplements entiers. Si les arbres ne peuvent pas se rétablir, ils meurent en une ou quelques années (Block et al. 1995 ; Ragazzi et al. 1995 ; Brasier, 1996 ; Scanu et al. 2013).

Les champignons pathogènes sont connus pour attaquer à la fois les racines et les parties aériennes des arbres. Dans la littérature, plus de 300 espèces de champignons et d'oomycètes sont signalées sur le chêne-liège, dont au moins 100 sont pathogènes (Franceschini et al. 1993 ; Luque et al. 2000). Parmi celles-ci, très peu sont des pathogènes primaires capables d'attaquer les tissus sains de l'arbre ; les autres sont des pathogènes opportunistes (comme les endophytes) uniquement lorsque l'arbre a été préalablement affaibli par des facteurs biotiques et abiotiques (Luque et al. 2000).

Parmi les agents pathogènes des racines, nous citons *Phytophthora cinnamomi*. Les connaissances sur la présence de ce pathogène en Afrique de l'Ouest sont très rares (Brasier, 2003). Il infecte les arbres poussant seuls ou en groupes, envahissant les racines, les collets et les troncs, d'où suinte souvent un exsudat noir. Les arbres infectés présentent une perte importante des racines latérales, petites et ligneuses, ainsi que des racines fines. En conséquence, le système racinaire est gêné dans l'absorption et le transport de l'eau et des nutriments, ce qui entraîne la mort de la plante. Le ralentissement de la croissance s'accompagne du jaunissement des feuilles, de la microphylie, de l'amincissement de la couronne et du développement de pousses épicromiques, généralement suivis du dépérissement de l'arbre entier (Camilo-Alves et al. 2013). Le succès de sa propagation et de sa dissémination est dû à la production d'un grand nombre de zoospores, qui sont différenciées à l'intérieur des sporanges et libérées dans l'eau du sol. Bien que *P. cinnamomi* soit probablement originaire des régions tropicales, ce pathogène est devenu invasif dans de nombreuses zones méditerranéennes caractérisées par des conditions de sécheresse prolongées et sévères (Shearer et al. 2004).

Ce chapitre se veut le résultat d'une collaboration avec une équipe de recherche appartenant au laboratoire de pathologie végétale et d'entomologie, département d'agriculture de l'université de Sassari, Sardaigne (Italie). L'objectif global de cette recherche est d'améliorer notre compréhension du rôle des *Phytophthoras* dans l'absence de régénération des subéraies. Pour atteindre ce but, nous avons testé la sensibilité des glands en germination d'origine d'El Aouana (Jijel) et de Hafir (Tlemcen) à certains agents pathogènes des racines du genre

Phytophthora (*Phytophthora cinnamomi*, *Phytophthora multivora*, *Phytophthora quercina*), par trempage de la racine pivotante en croissance dans une suspension de zoospores.

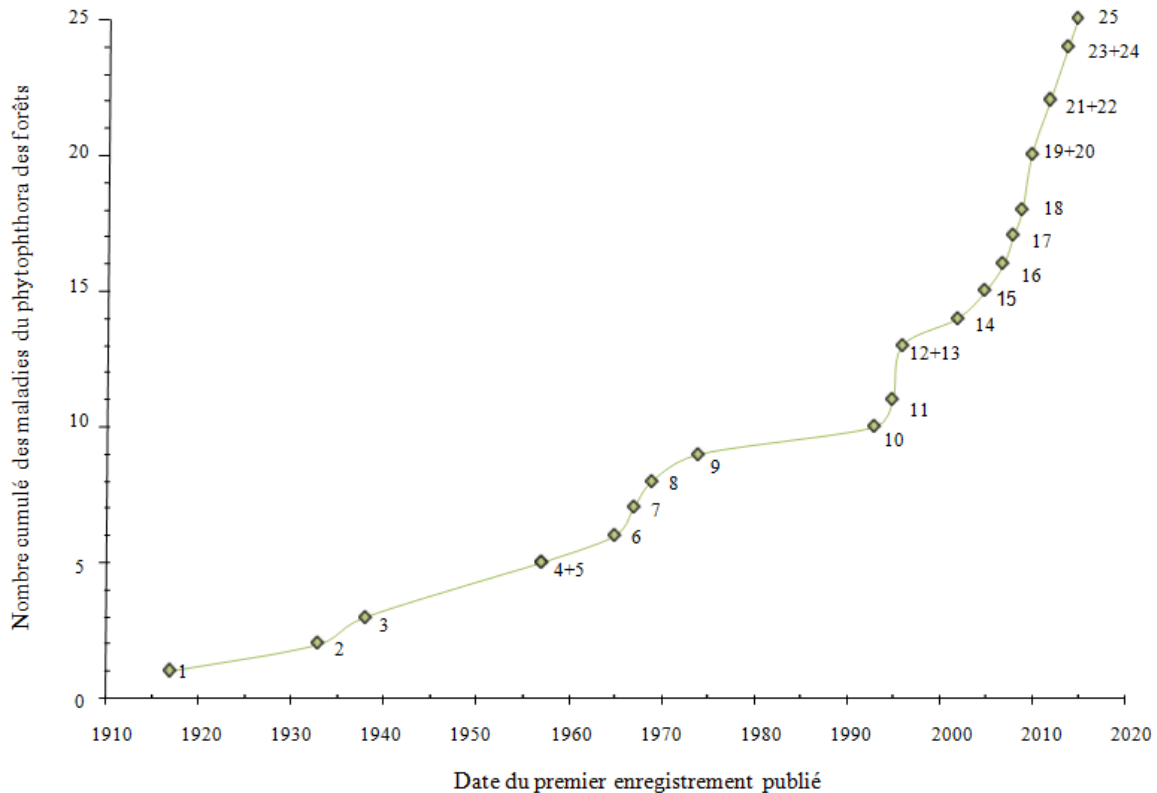


Figure 37. Nombre cumulé de déclins et de dépérissements importants de *Phytophthora* des forêts et des écosystèmes naturels au fil du temps ; **1** = maladie de l'encre de *Castanea sativa* en Europe ; **2** = maladie de l'encre de *Castanea dentata* aux États-Unis ; **3** = déclin de *Fagus sylvatica* au Royaume-Uni ; **4** = maladie des petites feuilles des pins aux États-Unis ; **5** = déclin et mortalité de *Chamaecyparis lawsoniana* dans le Pacific Nord-Ouest ; **6** = dépérissement du jarrah en Australie occidentale ; **7** = maladie de l'encre de *C. crenata* et des hybrides de châtaigniers en Corée ; **8** = dépérissement des eucalyptus dans le Victoria ; **9** = dépérissement du kauri en Nouvelle-Zélande ; **10** = **dépérissement du chêne méditerranéen** ; **11** = mortalité d'*Alnus* en Europe ; **12** = dépérissement du chêne européen tempéré ; **13** = dépérissement de *F. sylvatica* en Europe continentale ; **14** = mort subite du chêne en Californie et en Oregon ; **15** = mortalité d'*Austrocedrus chilensis* en Argentine ; **16** = dépérissement du chêne dans l'est des États-Unis ; **17** = chute des aiguilles et défoliation de *Pinus radiata* au Chili ; **18** = dépérissement d'*Eucalyptus gomphocephala* en WA ; **19** = dépérissement d'*E. rudis* en WA ; **20** = mort subite du mélèze au Royaume-Uni ; **21** = dépérissement de *Nothofagus spp.* au Royaume-Uni ; **22** = mortalité de *Juniperus communis* au Royaume-Uni ; **23** = fonte des aiguilles rouges de *P. radiata* en Nouvelle-Zélande ; **24** = brûlure des feuilles et des rameaux d'*Ilex aquifolium* en Corse et en Sardaigne ; **25** = dépérissement de la végétation du maquis méditerranéen (Jung et al. 2018).

2. Matériel et méthodes

2.1. Matériel végétal

Les glands de chêne-liège, utilisés dans le cadre de ce travail expérimental proviennent des peuplements naturels situés à Jijel (El Aouana) et Tlemcen (Hafir). Le matériel végétal a été collecté sur des arbres physiquement sains, qui ne présentent aucun signe maladif ou d'attaque d'insectes ou de champignons.

Au laboratoire, les glands de chaque provenance ont subi un test de viabilité en mesurant : la teneur en eau initiale et le taux de germination.

3. Méthodes expérimentales

3.1. Milieux de culture

Agar synthétique pour *Mucor* (ASM) est un milieu sélectif pour *Phytophthora* (Brasier et Kirk, 2001), composé d'éléments nutritionnels et antimicrobiens qui inhibent la croissance des bactéries et des champignons. Il a été préparé en ajoutant les éléments suivants : saccharose 10 g ; L'asparagine 1,0 g ; sulfate de magnésium 0,25 g ; thiamine HCl 0,001 g ; éléments minéraux 1 ml ; agar technique no. 3, 16 g ; dihydrogénophosphate de potassium 0,5 g ; MBC 0,5 ml ; pimarinine (2,5% p/v) 0,4 ml ; rifamycine SV (1% p/v) 3 ml ; eau distillée 1000 ml. Le pH a été ajusté à 6,5 avec du NaOH 1 M, puis stérilisé dans un autoclave à 121 °C pendant 15 minutes. Après l'autoclavage, la gélose a été refroidie à environ 45 °C et amendée avec 0,4 ml d'une suspension aqueuse de pimarinine à 2,5% (p/v) et 3 ml d'une solution aqueuse de sel de sodium de rifamycine à 1% (p/v).

Gélose au jus de carotte (GJC), ce milieu a été utilisé à la fois pour la croissance et la conservation des espèces de *Phytophthora* (Brasier, 1967). Il a été préparé comme suit : 12 g de gélose technique no. 3 ; Oxoid Ltd ; 2,4 g de CaCO₃ ; 160 g de carotte filtrée et 800 ml d'eau distillée. Le filtrat de carotte a été obtenu en mélangeant 200 g de carottes dans un mixeur avec 500 ml d'eau distillée, jusqu'à ce que le mélange apparaisse lisse, puis filtré. Une fois filtré, le filtrat a été porté à 1 litre de l'eau distillée et l'agar ajouté. Le milieu a été stérilisé dans un autoclave à 121 °C pendant 15 minutes.

3.2. Méthode d'isolement de *Phytophthora*

Tous les échantillons de sol ont été apportés au laboratoire et stockés à 5 °C jusqu'à leur utilisation pour l'isolement des espèces de *Phytophthora*. Les isolations ont été effectuées en utilisant la méthode de l'appât décrite par Jung et al. (1996) et Scanu et al. (2015) (figure 38).

Environ 200 g de sol frais ont été inondés dans des bacs en plastique de 10 x 10 x 15 cm avec 500 ml d'eau distillée, puis de jeunes folioles prélevées sur des semis de chêne-liège de 2-3 mois ont été utilisées comme appâts flottant au-dessus de l'eau (figure 38A). Après 3 à 5 jours, les feuilles présentant des taches noires (figure 38B) ont été séchées au buvard sur du papier filtre et placées sur des plaques d'Agar synthétique pour Mucor (ASM). Les plaques ont été contrôlées quotidiennement au stéréomicroscope et toute colonie en développement a été mise en sous-culture sur la gélose au jus de carotte (GJC), sous une hotte à flux laminaire. Les boîtes ont été incubées à 20 °C à l'obscurité pendant quelques jours, puis examinées au microscope pour détecter les extrémités d'hyphes typiques des espèces de *Phytophthora*.



Figure 38. Isolement des espèces de *Phytophthora* : (A) méthode d'appâtage d'échantillons de sol et de racines à l'aide de feuilles fraîches de *Quercus suber* ; (B) feuilles de chêne-liège infectées, (Brandano, 2017).

3.3. Identification des isolats de *Phytophthora*

Tous les isolats obtenus dans cette étude ont fait l'objet d'un dépistage préliminaire basé sur l'aspect morphologique des colonies. Ensuite, des isolats représentatifs de chaque groupe de colonies ont été identifiés morphologiquement en utilisant les clés d'identification de Chen et Zentymer (1970) et Erwin et Ribeiro (1996). La comparaison morphologique a été faite directement avec des isolats représentatifs d'espèces connues de *Phytophthora*, stockés dans la collection d'oomycètes du département d'agriculture, section pathologie végétale et entomologie de l'université de Sassari (Italie).

Les sporanges ont été produits en inondant des disques de gélose carrés de 15 x 15 mm, retirés du bord de croissance de colonies âgées de 5 jours sur la gélose au jus de carotte (GJC) dans des boîtes de pétri de 60 mm, avec de l'eau d'extrait de sol non stérile à 20 °C avec leurs surfaces submergées, à la lumière naturelle du jour (figure 39). Cette eau a été décantée et remplacée toutes les 12 heures. L'extrait de sol a été préparé en mettant en suspension 100 g de sol prélevé sur un peuplement de chêne exempt de *Phytophthora* dans 1 litre d'eau distillée. Le tout a été agité et incubé pendant 24 heures à 20 °C, et le surnageant a été aspiré avec une seringue en évitant les particules de sol. Après 18-36 heures, les dimensions et les traits caractéristiques des sporanges matures, choisis au hasard, de chaque isolat, ont été réalisés à des grossissements de 200x et 400x et enregistrés à l'aide d'un appareil photo numérique Leica DFC495 connecté à un microscope composé Leitz Diaplan (Leitz, Allemagne) et du logiciel d'imagerie Leica Application Suite v.4.5.0 (Leica Microsystems, Suisse). Les chlamydospores et les renflements d'hyphes ont été évalués directement sur les plaques de gélose au jus de carotte (GJC) s'ils étaient présents. Les gamétanges ont été examinées après 3-4 semaines sur (GJC) à 20 °C.



Figure 39. Production de sporanges chez les trois champignons phytopathogènes testés de *Phytophthora*.

3.4. Inoculation *in vitro* des glands en cours de germination

En novembre 2018, des glands de chêne-liège sains ont été collectés pour tester leur sensibilité à l'infection par *Phytophthora*. Afin de minimiser la variation génétique du matériel végétal, les glands ont été récoltés sur le même arbre.

Au laboratoire, les glands ont été rincés avec de l'eau puis traités avec de l'eau de Javel (12°) diluée pour empêcher le développement de champignons épiphytes. Par la suite, ces glands sont stockés au réfrigérateur à 5 °C en gardant une humidité supérieure à 40%, afin de maintenir une capacité de germination élevée (Dettori et al. 2001).

Avant d'être semés, les glands ont été immergés dans l'eau pour faciliter leur réhydratation et séparer les semences non viables. Les glands sont ensuite semés dans un récipient en plastique avec du sable et placés avec l'apex vers le bas pour favoriser un développement régulier et droit de la racine pivotante. Les récipients contenant les glands semés ont été incubés à l'obscurité dans une chambre de croissance réglée à 25 °C et humidifiés pour faciliter le développement des racines pivotantes. Les glands ont été contrôlés quotidiennement et lorsque les racines pivotantes atteignent 3-4 cm de long, ils ont été récoltés pour être inoculés avec les différentes espèces de *Phytophthora*.

L'inoculum était constitué de suspensions de zoospores préparées selon un protocole adapté de Denman et al. (2005). Des disques de 1 cm de diamètre ont été découpés sur les bords des colonies se développant sur le milieu GJC et ont flotté dans des plaques contenant de l'eau

d'extraction de sol pendant 48 heures à 20 °C sous lumière du jour continue. Une solution minérale de Petri contenant dans 1 litre d'eau distillée, 0,4 g de nitrate de calcium, 0,15 g de sulfate de magnésium, 0,15 g de dihydrogénophosphate de potassium et 0,06 g du chlorure de potassium, a également été utilisée à la place de l'extrait de sol. L'extrait du sol/solution de Petri a ensuite été remplacé par de l'eau stérile et les plaques ont été incubées pendant 48-72 heures supplémentaires. Une fois que les sporanges sont abondants sur les disques de mycélium, les plaques sont par la suite maintenues à 4 °C pendant 1 h et ramenées à la température ambiante pour induire la libération des zoospores. La concentration de zoospores a été déterminée à l'aide d'un hémocytomètre et la suspension a été ajustée à 2×10^5 zoospores ml^{-1} pour l'inoculation.

Les suspensions de zoospores ont ensuite été transférées dans des tubes en verre de 18 cm de long et de 1,5 cm de diamètre, préalablement stérilisés par autoclavage à 121 °C pendant 30 min. Les glands en germination ont été déposés dans le haut des tubes remplis d'eau stérile jusqu'à ce qu'une portion de 1 cm des racines soit immergée (figure 40). Les glands dont le diamètre était inférieur à 1,5 cm ont été scellés avec du parafilm pour les maintenir en haut du tube.

Pour mesurer la croissance des racines, la surface des tubes a été marquée à la fois au niveau de l'eau et à l'extrémité des racines. Les tubes incubés à l'obscurité à 20 °C ont été vérifiés quotidiennement et la croissance de la racine pivotante ainsi que les nécroses ont été enregistrées, jusqu'à ce que la racine atteigne le fond des tubes, ce qui s'est produit généralement en 7-10 jours. Il y avait six répétitions pour chaque isolat. Cet essai a été répété deux fois pour chaque espèce de *Phytophthora*. Pour les glands témoins, la suspension de zoospores n'a pas été ajoutée à la solution d'eau stérile dans les tubes.



Figure 40. Glands de chêne-liège en germination exposés à une suspension de zoospores

4. Résultats

4.1. Teneur en eau et taux de germination des glands

À la récolte, les glands contiennent une teneur en eau par rapport au poids frais, égale à 41,81% pour la provenance de Hafir et 43,23%, pour celle d'El Aouana. Le suivi de la germination dans un milieu sain (sans contaminants microbiologiques), a induit des taux de germination élevés variant de 85 à 92,5%, obtenus dans un délai de germination de 12 à 15 jours pour les glands provenant d'El Aouana et ceux issus de Hafir respectivement (tableau 12).

Tableau 12. Teneur en eau (TE) et taux de germination (TG) des glands de chêne-liège (TE : $n = 15$ glands \times 3 répétitions ; TG : $n = 25$ glands \times 3 répétitions)

<i>Provenances</i>	<i>Teneur en eau (%)</i>	<i>Taux de germination (%)</i>	<i>Délai de germination (jours)</i>	<i>Durée de germination (jours)</i>
<i>El Aouana-Jijel</i>	43,23	92,5	12	28
<i>Hafir-Tlemcen</i>	41,81	85	15	28

4.2. Inoculation *in vitro* des glands en germination

L'évaluation des racines a été faite après 10 jours pour tous les isolats testés, bien que certains aient compromis le développement des racines avant cette période. Tous les isolats testés ont été capables de provoquer une réduction significative de la longueur de la racine pivotante, avec parfois une apparition des lésions nécrotiques. D'après le test HSD de *Tukey*, les isolats *P. cinnamomi*, *P. multivora* et *P. quercina*, ne différaient pas entre eux, montrant une

croissance moyenne de la racine pivotante de 0,87 ; 1,2 et 1,86 cm, respectivement pour la provenance de Jijel et de 0,65 ; 1,16 et 1,78 cm respectivement pour celle de Tlemcen. En revanche, une différence significative ($P < 0,0000$), a été enregistrée entre les isolats et les témoins, dont la longueur moyenne de la racine pivotante était de 11,54 et 9,67 cm enregistrée chez les jeunes germinations provenant de Jijel et celles issues de Tlemcen respectivement, et aucune lésion nécrotique n'a été observée. Parmi les trois souches fongiques testées, *P. cinnamomi*, était la plus agressive, provoquant une réduction significative de la longueur de la racine pivotante ($P < 0,0000$) (figures 41 et 42).

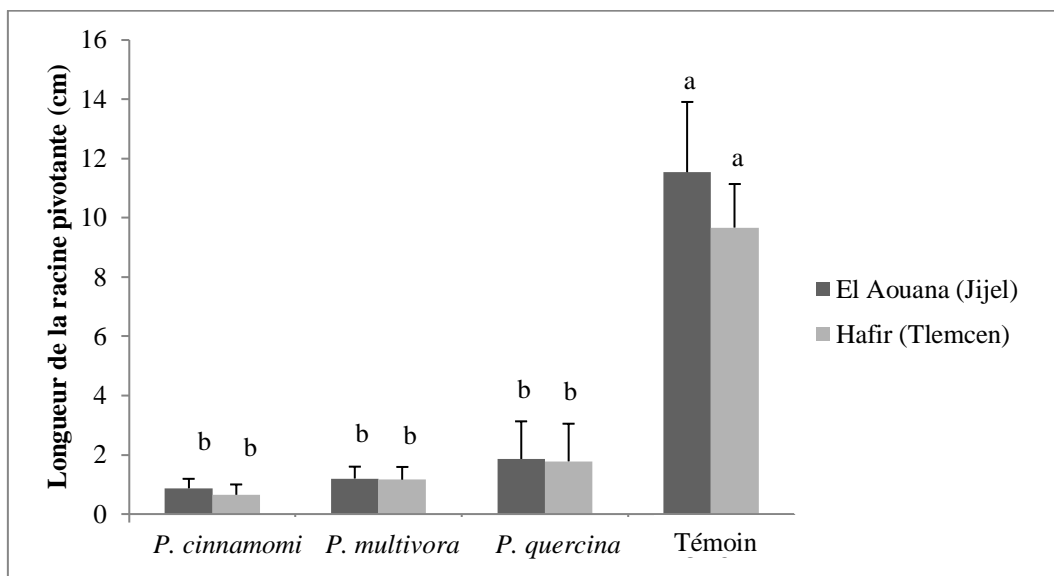


Figure 41. Longueur moyenne des racines pivotantes de jeunes germinations de Chêne-liège traitées par des suspensions de zoospores de trois souches de *Phytophthora*. Les différences significatives à $P < 0,05$ sont indiquées par des lettres différentes.

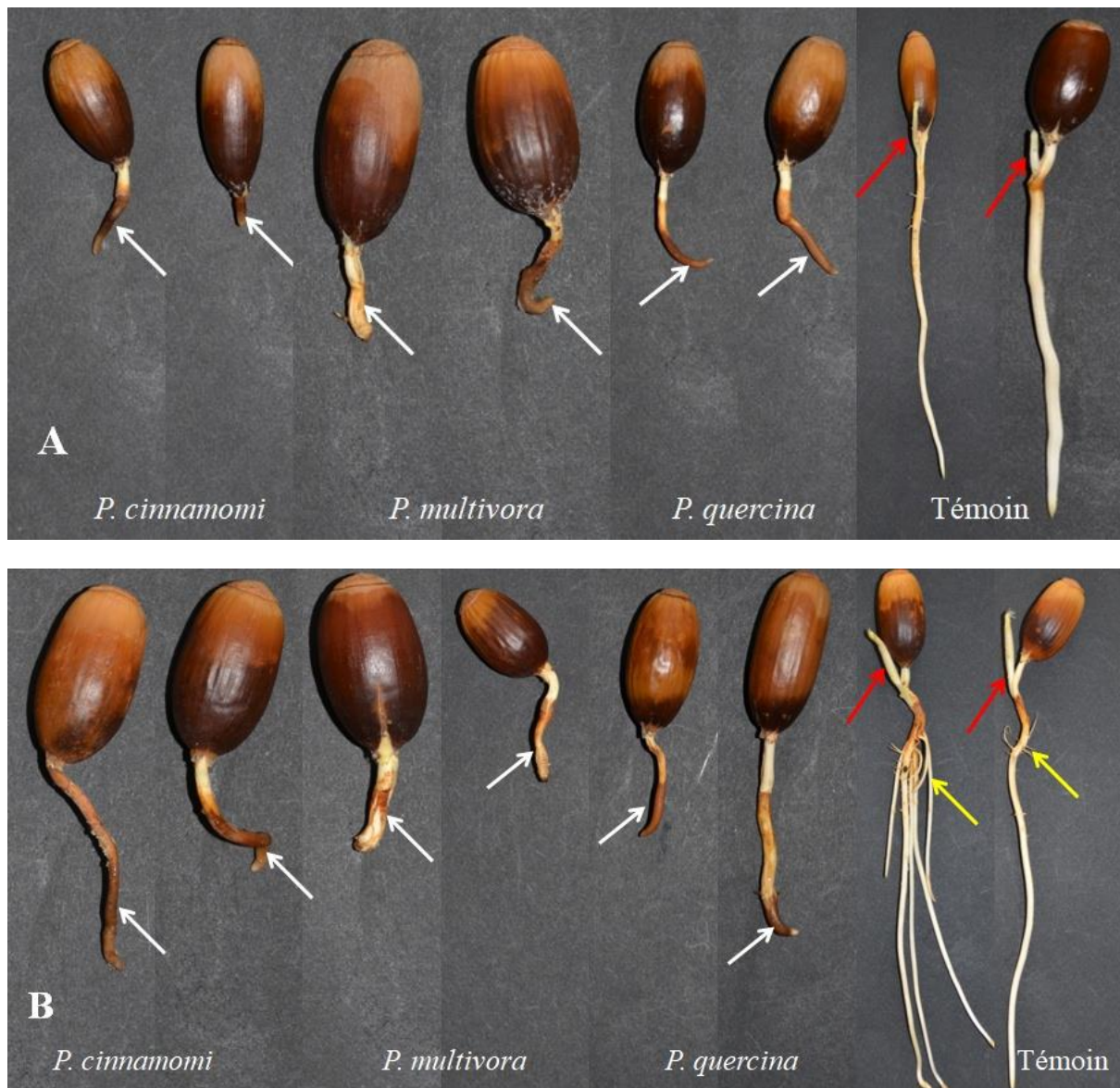


Figure 42. Glands de chêne-liège en germination après 10 jours de trempage dans une suspension de zoospores d'isolats de *Phytophthora* appartenant à trois espèces différentes et dans de l'eau stérile (Témoin). Les flèches blanches indiquent les lésions nécrotiques développées sur les racines pivotantes, tandis que les flèches rouges montrent les pousses aériennes et les flèches jaunes montrent la ramification racinaire. A : Hafir-Tlemcen ; B : El Aouana-Jijel.

5. Discussion

Les résultats de ce chapitre ont montré que les glands de chêne-liège des deux provenances étudiées sont viables dans la même mesure où leur germination est possible, avec une teneur en eau initiale estimée entre 41,81 et 43,23% du poids frais. Cela confirme que les glands du genre *Quercus*, appartiennent aux semences récalcitrantes, qui conservent une teneur en eau élevée (30 à 50%) après maturité (Bonner, 1973). Concernant le taux de germination final, les résultats ont montré clairement que les glands issus des deux provenances testées germent

mieux dans le milieu témoin (sans contaminants phytopathogènes), avec des taux germinatifs variant de 85 à 92,5%. Ces taux sont importants comparativement à ceux obtenus par Cemagref (1983), qui considère que le taux de germination est satisfaisant à partir de 85%.

Les essais d'inoculation *in vitro* des glands en germination par les zoospores de trois espèces de *Phytophthora* ont montré une nette sensibilité du chêne-liège aux infections fongiques. En effet, les trois souches de *Phytophthora* se sont comportées de la même manière et ont réduit la longueur des racicules des glands de manière plus significative par rapport aux témoins.

Phytophthora cinnamomi, est considéré comme la souche la plus agressive à la croissance de la racine pivotante. Ces résultats sont en accord avec ceux de Brandano (2017), qui a montré que cette espèce de *Phytophthora* inhibe la croissance racinaire après 2-3 jours d'exposition aux zoospores. Rodriguez-Molina et al. (2002) et Martín-García et al. (2014) ont déclaré que la germination des glands pouvait être entravée jusqu'à 100% en fonction des espèces de *Phytophthora* présentes dans le sol. En outre, les trois souches fongiques étudiées, ont engendré des nécroses au niveau des racines pivotantes. Ces altérations sont probablement dues aux sécrétions d'enzymes extracellulaires par *Phytophthora*, qui dégradent les parois cellulaires de l'hôte, notamment le composant pectine de la lamelle moyenne (Obwald et al. 2014).

La limitation de l'extension de la racine pivotante pendant le stade précoce représente une étape cruciale pour la survie des semis (Cubera et al. 2012). Ces auteurs soulignent que toute limitation de l'extension géotropique positive de la racicule pendant la germination peut avoir un impact significatif sur la capacité de la plante à tolérer la sécheresse du sol et la compétition avec les plantes herbacées en été. Il y a une priorité claire pour la croissance des racines chez le chêne-liège pendant les premiers stades de la vie de la plante, et la survie des semis ne peut être garantie avant que les racines n'atteignent une profondeur de sol qui retient l'eau en été (Maroco et al. 2002).

5. Conclusion

La protection des peuplements de chêne-liège qui sont confrontés, actuellement, à une perte de vigueur, à une absence de régénération naturelle et à un dépérissement qui menacent leur pérennité, passent nécessairement par une bonne maîtrise des contraintes affectant la régénération de l'espèce. Ce sont ces préoccupations, qui nous ont conduits à l'initiation et à l'exécution de ce chapitre, qui porte sur l'analyse du comportement des jeunes germinations aux infections fongiques, qui participent au dépérissement et la mortalité du chêne-liège.

La sensibilité des glands en germination aux infections par *Phytophthora* a montré que les espèces étudiées sont capables de provoquer une réduction significative de la croissance racinaire, avec une apparition des lésions nécrotiques, ce qui peut réduire la tolérance des jeunes semis aux sécheresses estivales.

Il est à signaler que les expériences en conditions contrôlées ne sont pas toujours comparables aux études sur le terrain, mais les conclusions de cette étude représentent sans doute, un pas en avant pour mieux comprendre le comportement au stade germinatif du chêne-liège aux attaques de certaines espèces de *Phytophthora*, qui peuvent affecter la régénération naturelle des subéraies en Algérie.

CONCLUSION GENERALE & PERSPECTIVES

Conclusion générale et perspectives

1. Conclusion générale

Le chêne-liège est une espèce intéressante qui présente plusieurs avantages sur le plan économique, social, environnemental et écologique. Il constitue un patrimoine forestier pour la plupart des pays méditerranéens et pour l'Algérie en particulier. Afin d'assurer la pérennité de ce patrimoine subéricole, il est nécessaire d'établir des stratégies pour préserver cette espèce contre les différents facteurs de dégradation.

La régénération artificielle par semis directe ou par plantation constitue un complément pour les autres méthodes de régénération. Cela exige une bonne connaissance des propriétés germinatives des semences qui permet de définir avec précision les conditions de leur utilisation. En outre, la connaissance des facteurs qui agissent sur la physiologie des semences et leur germination constitue un facteur important dans la production de plants de qualité requise.

Le présent travail avait comme objectif d'étudier en premier temps la variabilité des caractères morphologiques des glands de chêne liège (*Quercus suber* L.) provenant de deux subéraies différentes, la première du littoral, El Aouana (Jijel) et la seconde de montagne, Hafir (Tlemcen). En second temps, l'objectif était de tester l'influence des paramètres morphologiques, ainsi que d'autres facteurs (i) la conservation des glands, (ii) le substrat de culture, (iii) le stress salin et (iv) certains agents pathogènes, sur la germination des glands et la croissance des semis en pépinière.

La caractérisation morphologique des glands (longueur, largeur et poids), a montré d'une part l'existence d'une importante variabilité inter et intraprovenance. Les résultats obtenus pour les différents paramètres mesurés varient en fonction de la provenance étudiée et nous ont permis de classer les glands en deux classes en fonction de leurs tailles : glands de petite taille (GPT) avec un volume inférieur à 3 cm³, et glands de grande taille (GGT) où le volume est compris entre 3 et 6 cm³.

Le suivi des paramètres germinatifs a montré qu'à l'exception du temps de latence, qui est le même (02 jours) quelque soit la provenance et la catégorie des glands testées, les autres paramètres présentent des variations entre eux, qui sont parfois significatives, avec un taux de germination final très intéressant (90 à 95%).

De point de vue croissance des semis, le suivi en pépinière a montré également l'existence d'une variation entre les variables mesurées pour les deux classes de glands testés. Dans ce sens, nous pouvons conclure que la taille et le poids des glands sont considérés parmi les facteurs qui agissent sur la qualité germinative ainsi que sur la croissance du plant. D'un autre côté, l'utilisation d'un substrat riche en matière organique a donné des taux de levée très satisfaisants par rapport aux substrats minéraux. Concernant les paramètres biométriques exprimés statistiquement, les meilleurs résultats ont été obtenus avec le substrat terreau (S3) pour les différents paramètres de croissances considérés, comparativement supérieur aux autres substrats, plus précisément les substrats classiques (terre végétale, sable) utilisés en pépinières forestières. En se basant sur l'aspect morphologique et biométrique du végétal, le substrat terreau (S3) peut être conseillé en pépinières pour la production de plants de chêne-liège par voie générative. Les plants élevés sur terreau présentent des caractéristiques morphologiques supérieures et une bonne croissance avec un rapport hauteur diamètre au collet supérieur à la norme. Toutefois, d'autres études complémentaires et diversifiées, aussi bien en pépinière qu'en site de reboisement, sont nécessaires pour valider le substrat approprié pour la production de plants de chêne-liège

La réussite de la conservation *ex situ* des graines d'essences ligneuses pérennes, est liée à la longévité intrinsèque (inhérente), au comportement physiologique des espèces pendant le stockage (orthodoxes, récalcitrantes), à la qualité initiale, par exemple à la teneur en eau de la matière stockée et aux méthodes et conditions de conservation. La viabilité des glands (récalcitrants) de chêne-liège durant la conservation, est difficile à maintenir (Delatour et al. 1977 ; Suszka et Tylkowski, 1980 et 1982 ; Muller, 1990 ; Bacchetta et al. 2006). Cette difficulté réside dans la non-maîtrise de la teneur en eau des glands, qui se traduit par une germination précoce ou par un développement de champignons et de pourriture durant la conservation. Les résultats obtenus dans cette étude confirment cette difficulté. En effet, une influence négative de la durée du stockage sur la teneur en eau des glands qui diminue pour les deux provenances étudiées. Pareille pour la cinétique de levée des semis qui a fortement baissée au-delà de 3 et 6 mois de conservation pour atteindre un niveau nettement inférieur à 80 %. En ce qui concerne, l'expérimentation en pépinière, les résultats ont montré une diminution de vigueur des glands durant les différentes périodes de stockage ce qui a répercuté sur la croissance et le développement ultérieur des plants.

Le stress salin constitue l'une des principales contraintes abiotiques auxquelles les plantes font face actuellement. Il provoque un déséquilibre au niveau des fonctions physiologiques de

la plante qui se traduit par un ralentissement de la croissance et du développement de la partie aérienne et du système racinaire. Nos essais ont montré que les glands de chêne-liège germent mieux en absence du sel ou dans un milieu à faible concentration saline (2,5 g/l). Au-delà de cette dose, une diminution des taux de germination se produit. Cette diminution s'accroît à partir de la concentration de 10 g/l pour atteindre un taux de réduction de 50% avec la dose de 15 g/l NaCl pour les deux provenances étudiées. Les paramètres de germination suivis ont mis en évidence la sensibilité de la provenance de Tlemcen au sel comparativement à celle de Jijel. Toutefois, pour les deux provenances, la salinité a exercé un effet dépressif sur l'élongation de la radicule et la croissance de l'appareil photosynthétique a été nettement affectée par l'augmentation du stress salin. L'arrosage avec une eau modérément salée (2,5 g/l), n'a aucune influence sur la croissance racinaire des plants élevés dans le substrat terreau.

La croissance et le développement des racines représentent une étape cruciale pour la survie des semis. Toute limitation de l'élongation de la radicule pendant la germination peut avoir un impact significatif sur la capacité des plantules à tolérer la sécheresse du sol et la compétition avec les plantes herbacées en été. Les champignons phytopathogènes sont connus pour attaquer à la fois les racines et les parties aériennes des arbres. Les sujets infectés présentent une perte importante des racines latérales, petites et ligneuses, ainsi que des racines fines. En conséquence, le système racinaire est gêné dans l'absorption et le transport de l'eau et des nutriments, ce qui entraîne la mort de la plante. Nos essais ont montré une sensibilité des glands en germination aux infections par les trois espèces du genre *Phytophthora* (*Phytophthora cinnamomi*, *Phytophthora multivora*, *Phytophthora quercina*), et le trempage de la racine pivotante en croissance dans une suspension de zoospores, a provoqué une réduction significative de la croissance racinaire voir même son arrêt avec l'apparition des lésions nécrotiques.

Les effets significatifs observés au cours de cette étude devront être validés dans les années à venir, afin de définir avec précision les conditions d'utilisations des glands en fonction des objectifs visés permettant le renouvellement des peuplements de chêne-liège, pour une gestion durable de nos subéraies.

2. Perspectives

Comme nous l'avons déjà signalé, les peuplements de chêne-liège connaissent des dépérissements et une dégradation croissante. Pour faire face à cette situation alarmante, il est important de prendre des mesures urgentes pour préserver, réhabiliter et améliorer les subéraies en Algérie. Pour cela, les recherches futures devraient porter sur les axes suivants :

- Étude génécologique qui permettra de recueillir des informations sur la structure et l'ampleur des variations phénotypiques et génotypiques des peuplements de chêne-liège. Cette étude permettra également de mieux connaître le potentiel génétique de l'espèce en Algérie et de sélectionner les écotypes les plus performants ;
- Essais de provenance avec objectif de déterminer de façon aussi rapide et économique que possible les provenances qui permettent d'obtenir des forêts bien adaptées et productives. Il faut en outre rassembler des informations sur l'ampleur des variations entre les arbres d'une même provenance ;
- Il serait judicieux de combiner la mycorhization au processus de production de plants de chêne-liège en pépinière. Aux avantages bien connus des mycorhizes sur la croissance végétale, s'ajoutent plusieurs bénéfiques, notamment pour la survie des plantes, l'impact sur la microflore du sol et le potentiel d'agent de réduction des stress tant abiotiques que biotiques.
- Il serait également intéressant d'associer à ces travaux, des études faisant appel aux marqueurs génétiques qui serviront à déterminer les gènes responsables des caractères morfo-adaptatifs d'intérêt économique (qualité et quantité de liège) et écologique (résistance au stress biotique et abiotique) ;
- Nous préconisons aussi, l'utilisation des techniques biotechnologiques, à savoir la culture in vitro, pour la sélection précoce des meilleurs génotypes et la cryoconservation pour conserver les organes végétaux (bourgeons, méristèmes, axes embryonnaires, etc.) de chêne-liège à long terme dans l'azote liquide à -196°C .

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références Bibliographiques

1. Aafi A., 2007. Etude de la diversité floristique de l'écosystème de Chêne-liège de la forêt de la Maamora. Thèse de Doctorat D'Etat Es-Sc Agronomiques. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II. Rabat- Maroc. 190 p.
2. Abbas M., 2006. Le Potentiel subéricole et la possibilité de production. Atelier sur la gestion durable de la subéraie Algérienne. El-Tarf, 30-31 octobre 2006.
3. Abbas M., 2013. Incidence économique des feux de forêts sur les subéraies. Journées d'étude sur la réhabilitation des subéraies incendiées et Reboisement. Université de Tlemcen du 16 - 17 janvier 2013.
4. Abgrall J. F., Soutrenon A. et Barthod C., 1990. Guide technique du forestier méditerranéen français – Protection phytosanitaire. Editions Cemagref-DICOVA.
5. Abgrall J. F. et Soutrenon A., 1991. La forêt et ses ennemis. Editions Cemagref-DICOVA.
6. Abourouh M., Lamhamedi M.S. et Fortin J. A., 1995. Techniques de mycorhization en pépinière des plants forestiers. Centre national de la recherche forestière de Rabat, Maroc, 38 p.
7. Acácio V., 2009. The dynamics of cork oak systems in Portugal: the role of ecological and land use factors. Thesis, Wageningen University, Wageningen, 210 p.
8. Achhal A., Akabli O., Barbéro M., Benabid A., M'hirit O., Peyre C., Quézel P. et Rivas-Martinez S., 1980. A propos de la valeur bioclimatique et dynamique de quelques essences forestières du Maroc. *Ecologia mediterranea* 5 : 211-249.
9. Ado A., Bil-Assanou I. H., Iro D. G., Toudou D. A. G., Ali M. et Mahamane S., 2017. Effet de prétraitements, de substrats et de stress hydriques sur la germination et la croissance initial de *Diospyros mespiliformis* Hochst. Ex A. DC. *European Scientific Journal*, j uly 2017 édition 13(21): 251-268.
10. Agyili J., Sacande M., Koffi E. et Peprah T., 2007. Improving the collection and germination of West African *Garcinia kola* Heckel seeds. *New Forests*, 34 : 269-279.
11. Alatou D., 1990. Recherches sur le déterminisme de la croissance rythmique du chêne *Quercus pedunculata* Ehrh. – *Quercus merbekii* Durieu – *Quercus suber* L. Etude morphologique, biochimique et écophysiological. Thèse de doctorat d'Etat en Sciences Naturelles ISN., Univ. Constantine, 109 p.
12. Alatou D., Aissani R. et Bousba D., 1995. Les composantes de la croissance de deux chênes méditerranéens. *Sciences et technologie*, 6 : 7-22.
13. Alatou D., Barnola P., Lavaranne S. et Gendraud M., 1989. Caractérisation de la croissance rythmique du chêne pédonculé. *Plant Physiol. Bioch.*, 27(2): 275-280.

14. Al-Karaki G. N., 2000. Growth of mycorrhizal tomato and mineral acquisition under salt stress. *Mycorrhiza* 10 :51–54
15. Allili N., 1983. Contribution à l'étude de la régénération du chêne liège dans la forêt domaniale de Béni-Ghobri, Tizi-Ouzou. Thèse d'ing ; INA El-Harrach, 53 p.
16. Alvino F. O., Rayol B. R., 2007. Different substrate effects in the germination of *Ochroma pyramidale* (cav. ex lam.) urb. (Bombacaceae). *Cièn. Flor.* 17 (1), 71-75.
17. Amara N. et Benrima A., 2017. Effet de la contrainte saline sur la croissance et le développement de la coriandre (*coriandrum sativum* L.). *Agrobiologia*, 7(1): 203-209.
18. Ammari Y., Lamhamedi M. S., Akrimi N. et Zine El Abidine A., 2006. Qualités physiologiques de jeunes plants de Pin d'Alep élevés en pépinière moderne sur différents substrats à base de compost. *Geo-Eco-Trop.* 30 (1), 11-24.
19. Arif F., 2015. Effets du stress salin et d'osmoprotecteurs naturels sur la germination de blé dur (*Triticum durum*) inoculé par *Pseudomonas fluorescens*. Thèse de Doctorat en Biologie, Faculté des Sciences de La Nature et de La Vie, Sétif, 155 p.
20. Assi E. M., Dogbo O. D., Kassin E., Assiri A. A., Tahy G. M., Guiraud B., N'Guessan W. P., Aka R. A., N'Guessan F., Kone B. (2018) : Détermination de l'âge optimal en pépinière des plants de cacaoyer pour une meilleure réussite au champ. *African Crop Science Journal*, Vol. 26, No. 4, 491-501.
21. Bacchetta G., Fenu G., Mattana E., Piotto et Virevaire M., 2006. Manuale per la raccolta, studio, conservazione e gestione ex situ del germoplasma". APAT, Agenzia per la Protezione dello Ambiente. Roma, 217 p.
22. Bakry B., El Antry S., Strani B. et Oubrou W., 1999. Les facteurs de dépérissement des subéraies marocaine. In Proceedings of the second meeting "Integrated Protection in Cork Oak Forest". IOBC wprs Bulletin. Salé (Maroc). 37-40.
23. Barbéro M., Quézel P. et Rivas-Martinez S., 1981. Contribution à l'étude des groupements forestiers et préforestiers du Maroc. *Phytocoenologia.* 9(3): 311-412.
24. Bartels D. et Sunkar R., 2005. Drought and Salt Tolerance in Plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 24 : 23-58.
25. Bastien Y. 1992. Résultats de semis de glands de conservation en pépinière. *Rev. For. Fr.*, 5: 430-434.
26. Bayuelo-Jiménez J. S., Craig R., Jonathan P. et Lynch J. P., 2002. Salinity Tolerance of Species during Germination and Early Seedling Growth. *Crop Science* 42(5).

27. Belhoucine L., Bouhraoua R. T. et Dahane B., 2011. Aperçu biologique du *Platypus cylindrus* (Fabricius, 1792) (Coleoptera, Curculionidae : Platypodinae) dans les galeries du bois de chêne-liège (*Quercus suber* L.). Orsis 25.
28. Belkhodja M. et Bidai Y., 2004. Réponse des graines d'*Atriplex halimus* L. A la salinité au stade de la germination. Sécheresse, 15(4) : 331-335.
29. Belouahem Dj. 1998. Les groupements végétaux du chêne liège de la région d'El-Tarf. Station de l'INRF d'El-Kala. I^{ères} Journées techniques sur le chêne liège, 21-25
30. Ben Khaled L., Ouarraqi E. et Zid E., 2007. Impact du NaCl sur la croissance et la nutrition de la variété de blé dur Massa cultivée en milieu hydroponique, Acta Botanica Gallica, 154(1) : 101-116.
31. Ben M'hamed M., Abid H. et Ben Jamâa M., 2002. La subéraie tunisienne importance et orientations pour une gestion durable. Actes du colloque « la subéraie biodiversité et paysage ». Vivés, France. 32 p.
32. Benabid A. 1982a. Etudes phytoécologique, biogéographique et dynamique des associations et séries sylvatiques du Rif Occidental (Maroc). Thèse Doct. Ès-Sc. Fac. Sci. et Techn. St Jérôme, Aix Marseille III, 199 p. + annexes.
33. Benabid A., 1982b. Bref aperçu sur la zonation altitudinale de la végétation climacique au Maroc. Ecolg. Med., 8(1-2) : 301-315.
34. Benabid A., 2000. Flore et écosystèmes du Maroc. Évaluation et préservation de la biodiversité. Edition Ibis Press, Paris, 359 p.
35. Benidire L., Daoui K., Fatemi Z. A., Achouak W., Bouarab L. et Oufdou K., 2015. Effet du stress salin sur la germination et le développement des plantules de *Vicia faba* L. J. Mater. Environ. Sci. 6(3) : 840-851.
36. Benmahioul B., Daguin F., et Kaid-Harche M., 2009. Effet du stress salin sur la germination et la croissance in vitro du pistachier (*Pistacia vera* L.). C.R. Biologies, 332(8) : 752-758.
37. Benmahioul B., Khelil B., Kaïd-Harche M. et Daguin F., 2010. Etude de la germination et de l'effet du substrat sur la croissance de jeunes semis de *Pistacia vera* L. Acta Botanica Malacitana. 87(35) : 87-94.
38. Bernola P., Champagnat P. et Lavarenne S., 1977. Mise en évidence d'une dormance rythmique chez le Noisetier (*Coryllus avellana* L.) cultivé en conditions contrôlées. C.R. Acad. Sci. Paris, 284 : 745-8.
39. Benseighir-Boukhari L. A. et Argillier C. 2006 : Amélioration de techniques de production hors-sol du chêne-liège : conteneurs et substrat. Ann. Rech. For. Algérie 12: 9-21.

- 40.** Berrichi M., Letreuch Belarouci N., et Haddad A., 2010. Caractéristiques mécaniques et physiques des principaux bois algériens. *Phys. Chem.* 51 : 136-141.
- 41.** Blanc D., 1987. Les cultures hors sol. 2^{ème} édition INRA. Paris, 409 p.
- 42.** Block J., Delb H., Hartmann G., Seemann D. et Schröck H. W., 1995. Schwere Folgeschäden nach Kahlfraß durch Schwammspinner im Bienwald. *Allg. Forst Z. / Wald* 50, 1278-1281.
- 43.** Bonner F. T., 1973. Storing red oak acorns. *Tree Plant. Notes* 24(3):12-13.
- 44.** Bonner F.T., 1983. Storing red oak acorns. *Tree Plant. Notes* 24(3):12-13.
- 45.** Bonner F. T., 1990. Storage of seeds: potential and limitations for germplasm conservation. *For. Ecol. Manage.*, 35:35-43.
- 46.** Borelli S. et Varela M.C., 2001. Mediterranean Oaks Network, Report of the first meeting, 12-14 October 2000, Antalya, Turkey. International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy.
- 47.** Botia P., Carvajal M., Cerda A., et Martinez V., 1998. Response of eight Cucumis melo cultivars to salinity during germination and early vegetative growth. *Agronomie* 18, 503-513.
- 48.** Bouchaour-Djabeur S., 2013. Les insectes ravageurs du Chêne liège au Nord-ouest algérien. *Geo-Eco-Trop.*, 36 : 175-184.
- 49.** Bouchaour-Djabeur S., Benabdeli K. et Taïb N., 2021. Glands de chêne-liège de la subéraie Hafir-Zarifet (Tlemcen, Algérie) : caractéristiques, état sanitaire et infestation par les insectes. *Géo-Eco-Trop.*, 2021, 45, 4 : 599-615.
- 50.** Bouchaour-Djabeur S., Benabdeli K., Bejamaa M. L., et Stiti B., 2011. Déprédation des glands de chêne liège par les insectes et possibilités de germination et de croissance des semis. *Géo-Eco-Trop.*, 35 : 69-80.
- 51.** Bouda S. et Haddioui A., 2010. Effet du stress salin sur la germination de quelques espèces du genre *Atriplex*. *Nature & Technologie*, 5 : 72 – 79.
- 52.** Boudy P., 1950. Economie forestière Nord-Africaine. Tome 2 (1) : Monographie et traitement des essences forestières. Larousse. Paris, 525 p.
- 53.** Boudy P., 1952. Guide du forestier en Afrique du Nord. Paris. Maison rustique, 509 p.
- 54.** Bouhraoua R. T., 2003. Situation sanitaire de quelques forêts de chêne liège de l'Ouest Algérien, Etude particulière des problèmes posés par insectes. Thèse. Doc. Etat. Dép. Forst. Fac. Sci. Univ. Tlemcen (Algérie). 267 p.

55. Bouhraoua R. T., 2013. L'œuvre du reboisement de chêne liège en Algérie entre les contraintes écologiques et les exigences techniques. Journées techniques du liège dans Forêt modèle de Provence. 21-22 novembre 2013. 46 p.
56. Bouhraoua R. T., Piazzetta R. et Berriah A., 2014. Les reboisements en chêne-liège en Algérie, entre contraintes écologiques et exigences techniques. Forêt méditerranéenne, 35(2) : 171-176.
57. Bouzid S., 2010. Étude de l'effet de la salinité et de la présence du molybdène sur le comportement écophysologique de deux variétés de plantes de l'espèce *Phaseolus vulgaris* L. Mémoire de Magistère en Biologie Végétale, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Constantine, 124 p.
58. Bouzoubaâ Z., et El Mousadik A., 2003. Effet de la température, du déficit hydrique et de la salinité sur la germination de l'Arganier, *Argania spinosa* (L.) Skeels. Acta Botanica Gallica, 150(3): 321-330.
59. Brandano A., 2017. Role of *Phytophthora* species in the lack of seedling recruitment in *Quercus suber* forests. Magister's thesis in agricultural systems. Department of Agriculture. Univ. DEGLI STUDI DI SASSARI- Sardinia (Italy), 74 p.
60. Brasier C. M., 1967. Physiology of reproduction in *Phytophthora*. PhD. Thesis, University of Hull, UK, pp. 220.
61. Brasier C. M., 1992. La mortalité du chêne-liège dans la péninsule Ibérique – Oak tree mortality in Iberica. Nature, 8: 360-539.
62. Brasier C. M., 1993. *Phytophthora cinnamomi* as a contributory factor on European oak declines. In: Recent Advances in Studies on Oak Decline (N Luisi, A Vannini, eds), 49-58.
63. Brasier C. M., 1996. *Phytophthora cinnamomi* and oak decline in southern Europe. Environmental constraints including climate change. Ann. Sci. For. 53: 347-358.
64. Brasier C. M. et Kirk S. A., 2001. Designation of the EAN and NAN races of *Ophiostoma novo-ulmi* as subspecies. Mycological Research. 105: 547–554.
65. Brasier C. M., 2003. The role of *Phytophthora* pathogens in forests and semi-natural communities in Europe and Africa. Pages 6-13 in: *Phytophthora* Diseases of Forest Trees. E. M. Hansen and W. Sutton, eds. Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis, OR.
66. Brugnoli E. et Lauteri M., 1991. Effects of Salinity on Stomatal Conductance, Photosynthetic Capacity, and Carbon Isotope Discrimination of Salt-Tolerant (*Gossypium hirsutum* L.) and Salt-Sensitive (*Phaseolus vulgaris* L.) C3 Non-Halophytes. Plant Physiology 95(2) :628-35

67. Camara B., Sanogo S., Cherif M. et Kone D., 2018. Effet du stress salin sur la germination des graines de trois légumineuses (*Phaseolus vulgaris*, *Glycine max* et *Vigna unguiculata*). *Journal of Applied Biosciences* 124: 12424-12432.
68. Camilo-Alves C.S.P., Clara M.I.E. et Ribeiro N.M.C.A., 2013. Decline of Mediterranean oak trees and its association with *Phytophthora cinnamomi*: a review. *Eur. J. For. Res.* 132 :411-432.
69. Campos P., Ovando P. et Montero G., 2008. Does private income support sustainable agroforestry in Spanish dehesa? *Land Use Policy* 25 :510-522.
70. Camus A., 1938. Les chênes : monographie du genre *Quercus*. Paul Le chevalier, Paris, Tome I, section Cerris et Mesobalanus, 686p.
71. Cantat R. et Piazzetta R., 2005. Le levé du liège, ce qu'il faut savoir sur l'exploitation du chêne-liège, Guide technique et de vulgarisation. Institut méditerranéen du liège, 45 p.
72. Carvalho J. B. et Morais C. J. E., 1996. Analise da florestaço em Portugal 1966-1995, Reunião de Especialistas em Reabilitação de Ecossistemas Florestais Degradados. Instituto Florestal. Lisboa, Portugal.
73. Casevitz-Weulersse J., 1981. Aspects de la faune du Chêne-liège (*Quercus suber* L.) lors d'une pullulation de *Lymantria dispar* L. (lep. *Lymantriidae*) et de *Malacosoma neustria* L. (Lep. *Lasiocampidae*) en Sardaigne. *Bull. Ecol.*, 12(4) : 355-364.
74. Cemagref., 1983. Régénération artificielle des chênes, note technique N°50.
75. Cerboneschi A., 1999. Densité de population et taux de parasitisme de *Lymantria dispar* (L.) (Lep. *Lymantriidae*) durant cinq années d'observations dans une forêt à *Quercus suber* L. de Sardaigne. In *Integrated production in Oak forests*, IOBC. 22(3).
76. Chadli R. et Belkhodja M. M, 2007. Réponses minérales chez la fève (*Vicia faba* L.) au stress salin. *European Journal of Scientific Research* 18(4) : 645-654.
77. Chaffei C., Pageau K., Suzuki A., Gouia H., Ghorbel M.H. et Masclaux-Daubresse C., 2004. Cadmium toxicity induced changes in nitrogen management in *Lycopersicon esculentum* leading to a metabolic safeguard through an amino acid storage strategy. *Plant Cell Physiol.*, 45: 1681-1693.
78. Chakali G., Bedreddine A., et Ouzani H., 2002. Insectpests of the oaks *Quercus suber* and *Q. ilex* in Algeria. *IOBC/WPRS Bull.* 25(5) : 93-100.
79. Champagnat P., Payan E., Champagnat M., Barnola P., Lavarenne S. et Bertholon C., 1986. La croissance rythmique de jeunes chênes pédonculés cultivés en conditions contrôlées et uniformes. *Naturalia monspeliensia*, N° hors-série, 303-337.

- 80.** Chaussat R. et Chapon M., 1981. Etude comparative des poids et des propriétés germinatives des grains de l'épillet de quelques *Triticum* sauvages et cultivés. Bull. Soc. Ecophysiol. 6(1-2): 15-21.
- 81.** Chen D. W. et Zentmyer G. A., 1970. Production of sporangia by *Phytophthora cinnamomi* in axenic culture. *Mycologia*, 62 : 397-402.
- 82.** Chérifi K., Anagri, A., Boufous E. et El Mousadik A., 2017. Effet du chlorure de sodium (NaCl) sur la croissance de six espèces d'Acacia. American Journal of Innovative Research and Applied Sciences, 4(4): 105-113.
- 83.** C.I.P.S., 2006. Code Internationale des Pratiques Subéricole. Projet SUBERVIN. 120 p.
- 84.** Côme D., Corbineau F., 1998. Semences et germination. Dans : Physiologie végétale II. Croissance et développement /P. Mazliak Ed. Paris : Hermann, pp. 185-313.
- 85.** Cordovilla M. P., Ligeró F. et Lluch C., 1995a. Influence of host genotypes on growth, symbiotic performance and nitrogen assimilation in Faba bean (*Vicia faba* L.) under salt stress. *Plant Soil*, 172 : 289-297.
- 86.** Cordovilla M.P., Ocana A., Ligeró F. et Lluch C., 1995b. Growth stage response to salinity in symbiosis *Vicia faba*-*Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae*. *Plant Physiol.*, 14 : 105-111.
- 87.** Cordovilla M.P., Ocana A., Ligeró F. et Lluch C., 1995c. Salinity effects on growth analysis and nutrient composition in four grain legumes-*Rhizobium* symbiosis. *J. Plant Nutr.*, 18: 1595-1609.
- 88.** Costa A., Pereira H. et Madeira M., 2010. Analysis of spatial patterns of oak decline in cork oak woodlands in Mediterranean conditions. *Ann. For. Sci.* 67:204.
- 89.** Cubera E., Moreno G., Solla A. et Madeira M., 2012. Root system of *Quercus suber* L. seedlings in response to herbaceous competition and different watering and fertilisation regimes. *Agrofor. Syst.* 85, 205–214.
- 90.** D.G.F., 2008. Bilan annuel de la production du liège en Algérie. 2 p.
- 91.** Dagnelie P. 2011. Statistique théorique et appliquée. Tome 2. Inférence statistique à une et à deux dimensions. Bruxelles, De Boeck, 3^{ème} Edi., 736 p.
- 92.** Daroui E. A., Boukroute A., Kouddane N. E. et Berrichi A., 2012. Effet de la salinité sur la germination et la croissance in vitro du *Washingtonia filifera* L. *Nature & Technologie, B- Sciences Agronomiques et Biologiques*, 8 : 32-38.
- 93.** Debez A, Chaïbi W et Bouzid S 2001 Effet de NaCl et de régulateurs de croissance sur la germination d'*Atriplex halimus* L. *Cahiers Agric.* 10: 135–138.

- 94.** Debez A, Ben Hamed K., Grignon C. et Abdelly Ch., 2004. Salinity effects on germination, growth, and seed production of the halophyte *Cakile maritima*, *Plant and Soil* 262: 179–189.
- 95.** Dehane B. 2012. Incidence de l'état sanitaire des arbres du chêne-liège sur les accroissements annuels et la qualité du liège de deux suberaies oranaises : M'Sila (W.Oran) et Zariffet (W.Tlemcen). Diplôme de Doctorat en Foresterie, Université Aboubakr Belkaid-Telemcen. 318 p.
- 96.** Dehane B., Bouhraoua R. T., Belhoucine L., et Haman F.Z., 2013. La filière liège algérienne, entre passé et présent. *Forêt méditerranéenne*, 34(2) : 143-152.
- 97.** Delatour C., Morelet M. et Men S., 1977. Le *Ciboria batschiana* chez les glands : voies de pénétration, évolution en conservation. *Annales de Phytopathologie*, vol. 9, n° 4, p. 534.
- 98.** Delgado M.J., Ligerio F. et Lluch C., 1994. Effects of salt stress on growth and nitrogen fixation by pea, faba-bean, common bean and soybean plants. *Soil Biol. Biochem.*, 26: 371-376.
- 99.** Denman S., Kirk S. A., Brasier C. M., et Webber J. F., 2005. In vitro leaf inoculation studies as an indication of tree foliage susceptibility to *Phytophthora ramorum* in the UK. *Plant Pathol.* 54 : 512-521.
- 100.** Dettori S., Filigheddu M. R. et Gutierrez M., 2001. La Coltivazione della Quercia da Sughero. Istituto Nazionale di Economia Agraria, Programma Operativo Multiregionale B28, Accademia It. di Scienze Forestali, Firenze. (http://desa.uniss.it/ColtivSughera_Dett.html)
- 101.** Diallo B. O., Joly H. I., McKey D., Hossaert-McKey M. et Chevallier M. H., 2010. Variation des caractères biométriques des graines et des plantules de neuf provenances de *Tamarindus indica* L. (Caesalpinioideae). *Fruits*, 65 : 153-167.
- 102.** Djerah A. et Oudjehih B., 2015. Effet du stress salin sur la germination de seize variétés d'orge (*Hordeum vulgare* L.). *Courrier du Savoir*, 20: 47-56.
- 103.** Dubey R. S., 1997. Nitrogen metabolism in plants under salt stress. In *Strategies for Improving Salt Tolerance in Higher Plants*, eds. P. K. Jaiwal, R. P. Singh and A. Gulati, pp. 129-158. New Delhi. India: IBH Puplication.
- 104.** Durand Ch., Bellanger M., Decoust M., 2004. Etat sanitaire de la subéraie varoise ; impact du démasclage et de la présence de l'insecte *Platypus cylindrus* F. Travail d'étude et de recherche. Université Aix-Marseille III Av. Escadrille Normandie-Niemen, 21 p.
- 105.** El Antry S., 1999. Biologie et dégâts de *Cerambyx cerdo mirbecki* Lucas (coléoptère - Cerambycidae) en suberaie de la Mamora (Maroc). In *Integrated production in Oak forests*, IOBC. 22(3).

- 106.** El Aantry-Tazi S., Abourouh M. et Aafia., 2008. Etat des connaissances scientifiques sur les subéraies : bilan et perspectives. *Ann. Rech. For. Maroc. Tome spécial 39*: 9-18.
- 107.** El Antry-Tazi S., Abourouh M., Sousa E. et Atay-Kadiri Z., 2008. L'insecte *Platypus cylindrus* Fabr. (Coléoptère, Platypodidae) dans les suberaies Marocaines. *Annales de la recherche forestière au Maroc. 39* : 234-237.
- 108.** El Boukhari M., Gmira N. et Brhadda N., 2013. Effet des traitements physiques sur la croissance et le développement des semis de glands de chêne liège (*Quercus suber* L.) en pépinière forestière au Maroc. *Geo-Eco-Trop.*, 37(2): 177-190.
- 109.** El-Badri N. et Abadie M., 2000. Observations on the dynamic of *Diplodia mutila* Fr. apud Mont. development on the cork-oak, *Quercus suber* L., in Morocco. *Cryptogamie Mycologie*, 21(4) : 235–248.
- 110.** Emberger L., 1930. La végétation de la région méditerranéenne. Essai d'une classification des groupements végétaux. *Rev. Gén. Bot* (43): 641-709.
- 111.** Erwin D. C. et Ribeiro O. K., 1996. *Phytophthora Diseases Worldwide*. St Paul Minnesota. American Phytopathological Society Press 562 pp.
- 112.** FAO., 1989a. Ressources phytogénétiques. FAO, Rome.
- 113.** FAO., 1989b. Rapport de la septième session du groupe FAO d'experts des ressources génétiques forestières. FO: FGR/7/Rep.F. FAO, Rome.
- 114.** Farmer R. E., 1975. Growth and assimilation rate of juvenile northern red oak: effect of light and temperature. *Forester Science*, 21 : 373-381.
- 115.** Fischesser B. et Dupuis-Tate M. F., 1996. *Le guide illustré de l'écologie*. Éd. de La Martinière. 319 p.
- 116.** Flowers T. et Colmer T. D., 2015. Plant salt tolerance: adaptations in halophytes. *Annals of Botany*, 115(3) : 327–331.
- 117.** Franceschini A., Marras F. et Sechi C., 1993. Funghi segnalati sulla Quercia da sughero (*Quercus suber* L.). *Collana biologica N° 3*. Stazione Sperimentale del Sughero, Tempio Pausania, Italy.
- 118.** Franceschini A., Corda P., Maddau, Sechi C. et Ruiu P. A., 1999. Manifestations de dépérissement du chêne-liège en Sardaigne (Italy). –IOBC/wprs Bull. 22 : 1-3.
- 119.** Fraval A., 1989. *Lymantria dispar*. Coll. Doc. sci. techn., Actes Editions, Rabat, 220 p.
- 120.** Geist H. J. et Lambin E. F. 2002. Proximate causes and underlying driving forces of Tropical deforestation. *BioScience*, 52(2) : 143-150.

- 121.** Ghanem R., Adjami Y., Saadi H. et Ouakid M.L., 2011. Les galles de chêne-liège dans l'est Algérien : Identification et répartition. Actes du Séminaires International sur la protection des végétaux. Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie El-Harrach, Dép. Zool. Agri. Forest., du 18 à 20 Avril 2011.
- 122.** G.I.E.C., 2007. Bilan des changements climatiques : Conséquences, adaptation et vulnérabilité. Résumé à l'intention des décideurs, et résumé technique, rapport du groupe de travail II du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 64 p.
- 123.** Gillon D., Bertrand M., Etienne M., Lumaret J. P. et Vallette J. C. 1987. Ecological impact of prescribed winter burning on fuel breaks in french mediterranean forests. First results. *Ecologia Mediterranea* 13: 163-176.
- 124.** Glenn E., Brown J. et Blumwald E., 1999. Salt Tolerance and Crop Potential of Halophytes. *Critical Reviews in Plant Sciences* 18(2): 227-255.
- 125.** Guehl J. M., Falconnet G. et Gruez J., 1989. Caractéristiques physiologiques et survie après plantation de plants de *Cedrus atlantica* élevés en conteneurs sur différents types de substrats de culture. *Annales des sciences forestières, INRA/EDP Sciences*, 46 (1), 1-14.
- 126.** Hamidi Y., Snoussi S. A. et Chaouia Ch., 2017. Effet de quelques mélanges des substrats sur la production des portes greffes du pistachier vrai *Pistacia vera* L. en pépinière. *Revue Agrobiologia*, 7 (1) : 218-224.
- 127.** Hanson P. J., Isebrands J. G., Dickson R. F. Et Dixon R. K., 1988. Ontogeny patterns of CO₂ exchange of *Quercus rubra* L. Leaves during three flushes of shoot growth. Insertion gradients of leaf photosynthesis. *For. Sci.*, 34(1): 69-76.
- 128.** Hardy F., 1960. Effects of air temperature on certain physiological processes of the cacao tree. *Coffee and Cacao* 3(7): 154-160 et 3(8): 184-197.
- 129.** Hawksworth D. L., 1972. *Description of Pathogenic Fungi and Bacteria*. Kew, UK: Commonwealth Mycological Institute, 359 p.
- 130.** Hernandez T., Garcia, C. et Reinhardt I. 1997. Short-term effect of wildfire on the chemical, biochemical and microbiological properties of Mediterranean pine forest soils. *Biology and Fertility of Soils* 25: 109-116.
- 131.** Hett P., 1993. Lutte biologique contre le Bombyx diparate en Bade-Wurtemberg. Bilan annuel Forstliche Versuchs und Forschungsanstlt Bade-Wurtemberg in La lettre du DSF n°6.
- 132.** Higgins S., Bond W. et Trollope W., 2000. Fire, resprouting and variability: a recipe for grass-tree coexistence in savanna. *Journal of Ecology* 88: 213-229.
- 133.** Hillel D., 1982. *Introduction to soil physics*. Academic Press, San Diego. 365 p.

- 134.** Hoffmann W. A., 1999. Fire and population dynamics of woody plants in a neotropical savanna: matrix model projections. *Ecology* 80: 1354-1369.
- 135.** Hoffmann W., Orthen B. et Do Nascimento P., 2003. Comparative fire ecology of tropical savanna and forest trees. *Functional Ecology* 17 : 720-726.
- 136.** Hubert F., 2013. Reconstructions phylogénétiques du genre *Quercus* à partir de séquences du génome nucléaire et chloroplastique. Thèse de Doct. en Biologie végétale spéci. Écologie évolutive, fonctionnelle et des communautés. Université Sciences et Technologies - Bordeaux I. France 287 p.
- 137.** Inácio M. L., Henriques J., Guerra-Guimaraes L., Gil Azinheira H., Lima A. et Sousa E. 2011. *Platypus cylindrus* Fab. (Coleoptera: *Platypodidae*) transports *Biscogniauxia mediterranea*, agent of cork oak charcoal canker. *Bol. Sanid. Veg., Plagas* 37 : 181-186.
- 138.** IPROCOR., 1999. Manuel didactique de l'élève et de l'ouvrier spécialisé dans les travaux d'exploitation du chêne-liège. Projet Leosuber, version française, 231 p.
- 139.** I.S.T.A., 2009, Règles internationales pour les essais de semences. Association Internationale d'Essais de Semences (ISTA), Zurichstr. 50, 8303 Bassersdorf, Suisse.
- 140.** Jiménez J. J., Sánchez M. E. et Trapero A., 2005. El chancro carbonoso de *Quercus* II : Patogenicidad de *Biscogniauxia mediterranea*. *Bol San Veg Plagas*, 31:563–575.
- 141.** Ju Y. M., Rogers J. D., Sain Martin F. et Granmo A., 1998. The genus *Biscogniauxia*. *Mycotaxon*, 66: 1-98.
- 142.** Jung T., Blaschke H. et Neumann P., 1996. Isolation, identification and pathogenicity of *Phytophthora* species from declining oak stands. *European Journal of Forest Pathology* 26 : 253-272.
- 143.** Kadri K., Maamam S., Cheikh M. H., Benabdallah A., Rahmoune C. et Bennaceur M., 2009. Effet de stress salin sur la germination, la croissance et la production en grains de quelques accessions Tunisiennes d'Orge (*Hordeum vulgare* L.). *Sciences & Technologie*, 29: 72-79.
- 144.** Kang B. T. et Sajjapongse A., 1980. Effect of heating on properties of some soils from southern Nigeria and growth of rice. *Plant and Soil* 55 : 85-95.
- 145.** Karem A., 2008. Le chêne liège- Programme pour l'Afrique du Nord projet éducation et conservation de la biodiversité. Maroc. Ed. Union mondial pour la nature (U.I.C.N). P 2.
- 146.** Kheloufi B., Tayeb S. et Abdelkader B., 2015. Quelle stratégie pour la préservation des formations de chêne lige (*Quercus suber*) en Algérie occidentale tellienne ?. Les acte du Med Suber 1, Université de Tlemcen, pp : 54-66.

- 147.** Koumiche F. et Benmahioul B., 2016. Effet de quelques traitements physiques sur la germination des glands et la croissance ultérieure des plants de chêne vert (*Quercus rotundifolia* Lam.). Algerian Journal of Arid Environment, vol. 6, n°2 : 83–92.
- 148.** Kuiper D., Schuit J. et Kuiper P.J.C., 1990. Actual cytokinin concentrations in plant tissue as an indicator for salt resistance in cereals, Plant Soil 123: 243–250.
- 149.** Laala A., Maameche M. et Hafsi M., 2016. Effet de quelques substrats sur la production des plants forestiers : Cas du cyprès Revue Agriculture. Numéro spécial 1 : 62-69.
- 150.** Lachiheb K., Neffati M. et Zid E., 2004. Aptitudes germinatives de certaines graminées halophytes spontanées de la Tunisie méridionale.
- 151.** Lachiheb K., Neffati M. et Zid E., 2004. Aptitudes germinatives de certaines graminées halophytes spontanées de la Tunisie méridionale.
- 152.** Lamey A., 1893. Le Chêne-liège, sa structure et son exploitation. Ed. Berger Levrault et Cie, Nancy. Paris, 289 p.
- 153.** Lamhamedi M. S., Fortin J. A., Ammari Y., Ben Jelloun S., Poirier M., Fectau B., Bougacha A. et Godin L., 1997. Évaluation des composts, des substrats et de qualité des plants (*Pinus pinea*, *Pinus halepensis*, *Cupressus sempervirens* et *Quercus suber* L.) élevés en conteneurs. Projet BIRD N°3601. Rapport technique : exécution des travaux d'aménagement de trois pépinières pilotes en Tunisie. Direction générale des forêts, Tunisie et Pampev. Internationale LTEE, Canada, 121 p.
- 154.** Lamhamedi M. S., Ammari Y., Bertrand F., Fortin J. A. et Margolis H., 2000. Problématique des pépinières forestières en Afrique du Nord et stratégie de développement. Cahiers Agriculture. 9 (5) : 369-380.
- 155.** Lamhamedi M. S., Fecteau B., Godin L. et Gingras C., 2006. Guide pratique de production en hors sol de plants forestiers, pastoraux et ornementaux en Tunisie. Projet ACDI E 4936-K061229. Pampev Internationale, Direction Générale des Forêts, Tunisie.
- 156.** Landis T. D., 1990. Growing media. In: Containers and growing media. (2). Agriculture.
- 157.** Lavarenne S., Champagnat P. et Barnola P., 1971. Croissance rythmique de quelques végétaux ligneux de régions tempérées cultivés en chambres climatisées à température élevée et constante et sous diverses photopériodes. Bull. Soc. Bot. Fr, 131-162.
- 158.** Leblanc M. L., Cloutier D. C., Leroux G. D. et Hamel C., 1998. Facteurs impliqués dans la levée des mauvaises herbes au champ. Article de synthèse. PHYTOPROTECTION, 79 : 111-127.
- 159.** Lepoutre B., 1965. Régénération artificielle du chêne-liège et équilibre climatique de la suberaie de la forêt en forêt de la Maâmora. *Ann. Rech. For. Maroc*, 355-364.

- 160.** Letreuch-Belarouci A. M., Letreuch-Belarouci N., Benabdeli K. et Medjahdi B., 2009. Impact des incendies sur la structure des peuplements de chêne-liège et sur le liège : le cas de la subéraie de Tlemcen (Algérie). *Forêt méditerranéenne*, 30(3) : 231–238.
- 161.** Levigner A., Lopez F., Vansuyt G., Berthomieu P., Fourcroy P. et Casse-Delbart F., 1995. Les plantes face au stress salin. *Cah. Agric.* 4 : 263–273.
- 162.** Linaldeddu B. T., Sirca C., Spano D. et Franceschini A., 2009. Physiological responses of cork oak and holm oak to infection by fungal pathogens involved in oak decline. *For. Pathol.* 39 : 232-238.
- 163.** Loisel R., 1976. La végétation de l'étage méditerranéen dans le Sud-est continental français. Thèse Doc. D'état. Univ. Aix-Marseille III, 384 p.
- 164.** Louro G., 1999. Avaliação da aplicação de programas de apoio à floresta na região do algarve, Direcção Geral das Florestas (DGF- Lisboa), Portugal.
- 165.** Luque J. et Girbal J., 1989. Dieback of cork oak (*Quercus suber*) in Catalonia (NE Spain) caused by *Botryosphaeria stevensii*. *Eur. J. Forest Pathol.* 19 : 7-13.
- 166.** Luque J., Parlade J. et Pera J. 2000. Pathogenicity of fungi isolated from *Quercus suber* in Catalonia (NE Spain). *For. Pathol.* 30: 247-263.
- 167.** Ly M. O., Kumar D., Diouf M., Nautiyal S. et Diop T., 2014. Effet de la salinité sur la croissance et la production de biomasse de deux provenances de *Jatropha curcas* L. cultivés en serre. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 8(1) : 46-56.
- 168.** Marañón T., Ajbilou R., Ojeda F. et Arroyo J., 1999. Biodiversity of woody species in oak woodlands of southern Spain and northern Morocco. *For. Ecol. Manage.* 115:147-156.
- 169.** Maroco J. P., Breia E., Faria T., Pereira J. S. et Chaves M. M., 2002. Effects of long-term exposure to elevated CO₂ and N fertilization on the development of photosynthetic capacity and biomass accumulation in *Quercus suber* L. *Plant, Cell & Environment* 25:105–113.
- 170.** Martín-García J., Solla A., Corcobado T., Siasou E. et Woodward S., 2014. Influence of temperature on germination of *Quercus ilex* in *Phytophthora cinnamomi*, *P. gonapodyides*, *P. quercina* and *P. psychrophila* infested soils. *For. Pathol.* 45:215–223.
- 171.** Moreira A. C. et Martins J. M. S., 2005. Influence of site factors on the impact of *Phytophthora cinnamomi* in cork oak stands in Portugal. *For. Pathol.* 35 : 145-162.
- 172.** M'sadak Y., Elouaer M. A. et El Kamel R., 2012. Évaluation des substrats et des plants produits en pépinière forestière. *Revue Bois et Forêts des Tropiques (BFT)* **313** (3), 61-71.
- 173.** M'Sdadak Y., Hamdi W. et Zaalani Ch., 2013. Production et croissance des plants d'Acacia sur des substrats à base de tamisat de compost dans une pépinière hors sol (Tunisie). *Revue Agriculture*, 06: 29 – 34.

- 174.** Manos P. S. et Stanford M. A., 2001. The historical biogeography of Fagaceae: tracking the tertiary history of temperate and subtropical forests of the northern hemisphere Int. J. Plant. Sci. Univ. Chicago, 1058-5893.
- 175.** Marion J., 1955. Observation sur la sylviculture du chêne liège dans le massif forestier Zaïan Zemmour ou plateau d'Oulmes (Maroc). Ann. Rech. For., Rabat, Rapports annuels 1953-1954, 2 : 25-57.
- 176.** Maryse L., Daniel C., Gilles D. L, Chantai H., 1998. Facteurs impliqués dans la levée des mauvaises herbes au champ. Article de synthèse. Phytoprotection 79 : 111-127.
- 177.** Mauget J. C., 1976. Croissance et ramification de la pousse de l'année de jeunes noyers. (*Juglans regia* L.). Physiologie végétale, 14 (2) : 215-232.
- 178.** Mauromicale J. et Licandro P., 2002. Salinity and temperature effects on germination, emergence and seedling growth of globe artichoke. Agronomie 22(5).
- 179.** Mendes A. M. S. C. Et Graça J. A. R., 2009. Cork bottle stoppers and other cork products. In: Aronson J, Pereira JS, Pausas JG, eds. Cork oak woodlands on the edge: Ecology adaptive management and restoration. Island Press, Washington DC, USA, 59-69.
- 180.** Merouani H. Branco C. Almeida M. H. et Pereira J. S., 2001. Comportements physiologiques des glands de chêne liège (*Quercus suber* L.) durant leur conservation et variabilité inter-individus producteurs. Ann. Forst. Sci. 58. INRA, EDP Sciences, 143-153.
- 181.** Messaoudene M., 1984. Résultats des essais de semis directs du chêne-liège à Melata. Rapport Interne, Inst. Nation. Rech. For. (INRF, Algérie), 10 p.
- 182.** Messaoudène M., 1998. La régénération naturelle des peuplements de *Quercus suber* L. dans la forêt domaniale des Beni-Ghorbi (Algérie). Actes du séminaire méditerranéen sur la régénération des forêts de chêne-liège. Tabarka. Tunisie, 73-86.
- 183.** Miller J. H., et Jones N., 1995. Organic and compost-based growing media for tree seedling nurseries. *World Bank Technical Paper*, Forestry series 264, 75p.
- 184.** Moricca S., Ginetti B.T.B., Scanu B., Franceschini A. et Ragazzi A., 2016. Endemic and emerging pathogens threatening cork oak trees: Management options for conserving a unique forest ecosystem. Plant Dis. 100 : 2184–2193.
- 185.** Mostefa Z., 1992. Situation et perspectives d'avenir du liège en Algérie. Actes coll., les subéraies méditerranéennes, Direc. Départementale de l'Agriculture et de la forêt des Pyrénées orientales et l'association Vivexpo, France : 99-106.
- 186.** Muller C., 1986. Le point sur la conservation des semences forestières et la levée de dormance. Revue forestière française, Agro Paris Tech, 38(3): 200-204.

- 187.** Muller C., 1990. Problèmes posés par la conservation des glands. Revue forestière française, AgroParisTech, 42 (2), pp.212-214.
- 188.** Munns R., 2002. Comparative physiology of salt and water stress. Plant, Cell and Environment, 25 : 239–250.
- 189.** Nabi F., 2009. Effet de la salinité sur la germination, la croissance et les composantes du rendement du *Vignaun guiculata* L. (Walp.). Mémoire de Magister en Biotechnologies végétales. Ecole nationale supérieure agronomique, Alger, 133 p.
- 190.** Natividade J. V., 1956. La Subericulture. Edition Française de l'ouvrage portugais «Subericultura », ENEF, Nancy (France), 311 p.
- 191.** Neumann P. M., 1997. Salinity resistance and plant growth revisited. Plant Cell Environment, 20 : 1193-1198
- 192.** Noland T. L., Morneault A. E., Dey D. C. et Deugo D., 2013. The effect of storage temperature and duration on northernred oak acorn viability and vigour. For.Chr., 89(6): 769-776.
- 193.** Nsibi R., 2005. Sénescence et rajeunissement des subéraies de Tabarka-Ain Draham avec approches écologiques et biotechnologiques. Thèse de Doctorat Sciences Biologiques. Faculté des Sciences. Université Tunis II. Tunisie. 170 p.
- 194.** Nsibi R., Souayah N., Khouja L. M. et Bouzid S., 2006. La régénération naturelle par semis de la subéraie de Tabarka - Aïn Draham face aux facteurs écologiques et anthropiques. Geo-Eco-Trop, 30 (1) : 35-48.
- 195.** Obwald W., Fleischmann F., Rigling D., Coelho A. C., Cravador A., Diez J., Dalio R. J., Horta Jung M., Pfanz H., Robin C., Sipos G., Solla A., Cech T., Chambery A., Diamandis S., Hansen E., Jung T., Orlikowski L. B., Parke J., Prospero S. et Werres S., 2014. Strategies of attack and defence in woody plant *Phytophthora* interactions. Forest Pathology 44: 169-190.
- 196.** O'Leary J. W. et Prisco J. T., 1970a. Response of osmotically stressed plants to growth regulators. Adv. Front. Plant. Sci., 25: 129-139.
- 197.** Othman Y., Al-Karaki G., Al-Tawaha A. R. et Al Horani A., 2006. Variation in germination and ion uptake in barley genotypes under salinity conditions. World J. Agric. Sci., 2 : 11-15.
- 198.** Ounoughi M., 2006. Effet de la salinité sur la germination et la croissance de L'Atriplexhalimus de différentes provenances (Djelfa, Tébessa et Oran). Mémoire de Magister en science Agronomique, Faculté des sciences Agro-Vétérinaires, Blida, 96 p.

- 199.** Owens J. N., Molder M., 1979. Bud development in *Larix occidentalis* L. Growth and development of vegetative long shoot vegetative short shoot buds. *Can. J. Bot.*, 57(7): 687-700.
- 200.** Palmberg C., 1987. Conservation of genetic resources of woody species. In Simposio sobre silvicultura y mejaramiento genetico. Cief, Buenos Aires, April 6-10.
- 201.** Parida A. K. et Das A. B., 2005. Salt Tolerance and Salinity Effects on Plants. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 60: 324-349.
- 202.** Parks G. E., Dietrich M. A. et Schumaker K. S., 2002. Increased vacuolar Na⁺ /H⁺ exchange activity in *Salicornia bigelovii* Torr. in response to NaCl. *J. Exp. Bot.*, 53: 1055-1065.
- 203.** Parks G. E., Dietrich M. A. et Schumaker K. S., 2002. Increased vacuolar Na⁺ /H⁺ exchange activity in *Salicornia bigelovii* Torr. in response to NaCl. *J. Exp. Bot.*, 53: 1055-1065.
- 204.** Pausas J. G. 1997. Resprouting of *Quercus suber* in North East Spain after fire. *Journal of Vegetation Science* 8 : 703-6.
- 205.** Pereira J. S., Bugalho M. N. et Caldeira M. C., 2008. Du chêne-liège au liège un système durable. Institut supérieur d'agronomie. Portugal 44 p.
- 206.** Pérez S. C. J. G. et Tambelini A. M., 1995. Efeito dos estresses salino e hidrico e do envelhecimento precoce na germinacao de algarobeira. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 30 : 1289-1295.
- 207.** Piazzetta R., 2005. État des lieux de la filière liège française. Institut méditerranéen du liège, Projet Interreg III-B Medocc « Suber-med », pp : 1-11.
- 208.** Piazzetta R., 2005. La levée du liège, guide technique et de vulgarisation, institut Méditerranéen du liège. 23 p.
- 209.** Piva A.L., Mezzalira E. J., Santin A., Sschwantes D., Klein J., Rampim L., Villa F., Tsutsumi C.Y. and Nava G.A., 2013.- Mergence and Initial Development of Cape Gooseberry (*Physalis peruviana*) Seedlings with Different Substrates Compositions. *African Journal of Agricultural Research*, 8, 6579-6584. <http://dx.doi.org/10.5897/AJAR2013.9787>.
- 210.** Prado F. E., Boero C., Gallardo M. et Antonio-Gonzalez J., 2000. Effect of NaCl on germination, growth and soluble sugar content in *Chenopodium quinoa* Willd Seeds. *Botanical Bulletin-Academia Sinica Taipei* 41(1): 27-34.
- 211.** Prisco J. T., Enéas Filho J. et Gomes Filho E., 1981. Effect of NaCl salinity on cotyledon starch mobilization during germination of *Vigna unguiculata* L. Walp Seeds. *Revista Brasileira de Botanica*, 4 : 63-71.

- 212.** Quézel P., 1974. Les forêts du Pourtour Méditerranéen. Mesure et Biosphère. UNESCO Programmes, Comm. Nat. Fr. M.A.B : 1-53.
- 213.** Quézel P., 2000. Réflexions sur l'évolution de la flore et de la végétation au Maghreb méditerranéen. Ibis Press. Paris, 117 p.
- 214.** Quézel P. et Barbero M., 1990. Les forêts méditerranéennes problèmes posés par leur signification historique, écologique et leur conservation, Acta Botánica Malacitana, 15 : 145-178.
- 215.** Quézel P. et Medail F., 2003. Ecologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen. Elsevier, Paris, 592 p.
- 216.** Rachdi S. et Haddan M., 1998. Importance des dégâts et identification des vers blancs ravageurs des jeunes plants de chêne-liège dans la forêt de la Mamora (Maroc). Protection Intégrée des Forêts de chênes, IOBC/WPRS Bull. 22(3) : 41-45.
- 217.** Rached-Kanouni M., 2013. Adaptation du chêne liège (*Quercus suber* L.) aux conditions extrêmes de température. Thèse Doct. en Sciences. Université Constantine 1 (Algérie), 159 p.
- 218.** Radhouane L., 2008. Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production en grains chez quelques écotypes de mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) Autochtones de Tunisie, C. R. Biologies 331 : 278–286.
- 219.** Ragazzi A., Vagniluca S. et Moricca S., 1995. European expansion of oak decline: involved microorganisms and methodological approaches. Phytopathol. Mediterr. 34: 207-226.
- 2120.** Rajesh A., Arumugam R. et Venkatesalu V., 1998. Growth and Photosynthetic characteristics of *Ceriops roxburghiana* under NaCl stress, brief communication. Photosynthetica 35(2) : 2852-287.
- 221.** Ramos Maqueda S., 2003. Biología reproductiva de una masa de alcornoque (*Quercus suber* L.), en el sur de Badajoz. PhD Thesis. Universidad De Extremadura. Badajoz (España).
- 222.** Rathinasabapathi B., 2000. Metabolic engineering for Stress tolerance: installing osmoprotectant synthesis pathways. Ann. Bot. 86 : 709–716.
- 223.** Reda Tazi M., Berrichi A. et Haloui B., 2001. Germination et croissance in vitro de l'arganier (*Argania spinosa* L. Skeels) des Beni-Snassen (Maroc oriental) à différentes concentrations en NaCl. Actes Inst. Agron. Vet., 21(3): 163-168.
- 224.** Reed R. S. et Mac Dougall D. T., 1938. Periodicity in the growth of the orange-tree. Growth, 1 : 371-373.
- 225.** Reille M., Triat-Laval H. et Vernet J. L., 1980. Les témoignages de structures de végétation méditerranéennes durant le passé contemporain de l'action de l'homme. Naturalia Monspeliensis, Actes Coll. Fond. Emberger: 79-87.

- 226.** Richard P., 1987. Etude des facteurs explicatifs de la croissance du chêne liège dans le Var. Cemagref Enttef, 72 p.
- 227.** Riedacker A., 1986. Production et plantation de plants à racines nues ou en conteneurs. Rev. For. Fr. 38(3) : 226-236.
- 228.** Ripert C. et Vennetier M., 2002. Guide technique du forestier méditerranéen français, chapitre 2 bis : évaluation des potentialités forestières. Cemagref éditions, pp.60.
- 229.** Rivas-Martinez S., Costa M., et Izco J., 1984. Sintaxonomia de la classe *Quercetea ilicis* in el mediterraneo occidental-Not. Soc. Ital. Fitosociol. 19(2): 72-96.
- 230.** Roberts E. H., 1973. Predicting the storage life of seeds. Seed Sci. Technol, 63:53-63.
- 231.** Roberts E. H. et Ellis R. H., 1989. Water and seed survival. Ann. Bot. 63 : 39-52.
- 232.** Robin C., Desprez-Loustau M. L., Capron G., et Delatour C., 1998. First record of *Phytophthora cinnamomi* on cork and Holm oaks in France and evidence of pathogenicity. Ann. For. Sci. 55 : 869-883.
- 233.** Rodriguez-Molina M. C., Torres-Vila L. M. Blanco-Santos A., Nunez E. J. P. et Torres-Alvarez E., 2002. Viability of holm and cork oak seedlings from acorns sown in soils naturally infected with *Phytophthora cinnamomi*. For. Pathol. 32, 365–372.
- 234.** Rossello E. R. et Beltran R. S., 2008. Quelques arguments en faveur de la suberaie et du liège. Acte du colloque "La guerre des bouchons", Vivexpo 2008. ICMC. Vives, France. 7 p.
- 235.** Rouibah M., Fennineche H. et Herikeche M., 2018. Contribution à l'étude de quelques facteurs causant le dépérissement du chêne-liège (*Quercus suber* L.) dans le littoral ouest de Jijel (Algérie). Agric. For. J., 2(2) : 92-100.
- 236.** Saccardy L., 1937. Notes sur le chêne-liège et le liège en Algérie. Bull. Stat. Rech. for. Afr. 2 (2): 271-374.
- 237.** Sánchez M. E., Caetano P., Ferraz J. et Trapero A., 2002. *Phytophthora* disease of *Quercus ilex* in south-western Spain. For Path 32 :5-18.
- 238.** Sanogo S., Sacandé M., Van Damme P. et NDiaye I., 2013. Caractérisation, germination et conservation des graines de *Carapa procera* DC. (Meliaceae), une espèce utile en santé humaine et animale. Biotechnol. Agron. Soc. Environ, 17(2) : 321-331.
- 239.** Sarir R., et Benmahioul B., 2017. Etude comparative de la croissance végétative et du développement de jeunes semis de trois espèces de chênes (chêne vert, chêne liège et chêne zéen) cultivés en pépinière. Agriculture and Forestry Journal. 1(1) :42-48.
- 240.** Sauvage Ch. 1961. Flore des subéraies marocaines (Catalogues des Cryptogames vasculaires et des phanérogames). Travaux de l'Institut scientifique chérifien, Série botanique, n° 22.

- 241.** Scanu B., Linaldeddu B. T., Franceschini A., Anselmi N., Vannini A. et Vettraino A. M. 2013. Occurrence of *Phytophthora cinnamomi* in cork oak forests in Italy. For. Pathol. 43: 340-343.
- 242.** Scanu B., Linaldeddu B. T., Deidda A. et Jung T., 2015. Diversity of *Phytophthora* species from declining Mediterranean maquis vegetation, including two new species, *Phytophthora crassamura* and *P. ornamentata* sp. nov. PLOS ONE 10 (12).
- 243.** Saccardy L., 1937. Notes sur le chêne-liège et le liège en Algérie. Bull. Stat. Rech. for. Afr. N. 2 (2): 271-374.
- 244.** Schippers C., 2007. Valorisation des pépinières villageoises, Rapport de mission, Projet DACEFI, Nature + : Gembloux, 47 p.
- 245.** Seigue A., 1985. La forêt circumméditerranéenne et ses problèmes. Paris : Maisonneuve et Larose ; Techniques agricoles et productions méditerranéennes. Mémoires et Documents de Géographie. Nouvelle série. ACCT, 502 p.
- 246.** Shearer B. L., Crane C. E. et Cochrane A., 2004. Quantification of the susceptibility of the native flora of the South-West Botanical Province, Western Australia, to *Phytophthora cinnamomi*. Australas. J. Bot. 52: 435-443.
- 247.** Silva J. S., Catry F., 2006. Forest fires in cork oak (*Quercus suber* L.) stands in Portugal, International Journal of Environmental Studies, 63(3): 235-257.
- 248.** Snoussi S. A, Halitim A., 1998. Valorisation des eaux salines pour la nutrition minérale des plantes cultivées : cas de la tomate et du haricot. EGS. 5(4): 289 – 298.
- 249.** Sobrado M. A. et Ball M. C., 1999. Light use in relation to carbon gain in the mangrove, *Avicennia marina*, under hypersaline conditions. Aust. J. Plant Physiol. 26: 245-251.
- 250.** Sobrado M. A., 1999. Leaf photosynthesis of the mangrove *Avicennia germinans* as affected by NaCl. Photosynthetica, 36 : 547- 555.
- 251.** Sondergaard P., 1991. Essai de semis de chêne liège (*Quercus suber* L.) dans la forêt de Bab Azhar, une subéraie de montagne au Maroc. Ann. Rech. For. Maroc, 25 : 16-29.
- 252.** Sousa E. et Kadiri Z., 2005. Le déclenchement des perturbations physiologiques des peuplements de chêne-liège : une synthèse des relations agent/hôte. Bull IOBC/WPRS. 28(8) : 9-16.
- 253.** Sousa E., Santos M. N., Varela M. C. et Henriques J., 2007. Perda de vigor dos montados de sobre e azinho: análise da situação e perspectivas (documentos síntese). DGRF, INRB, Lisboa, Portugal Natividade (1958) Fomento da subercultura, campanha de 1957. Bol cortiça 235.
- 254.** Stiti B., 1999. Contribution à la maîtrise des méthodes de conservation des glands de chêne liège. DEA(Master). Univ. El Manar, Fac. Sc., Tunis, 64-70.

- 255.** Stiti B., Piazzetta R. et Khaldi A., 2014. Régénération de la subéraie tunisienne : état des lieux, contraintes et avancées techniques. Journées techniques du liège. Forêt méditerranéenne 35(2) : 151-160.
- 256.** Suszka B. et Tylkowski T., 1981. Storage of acorns of the English oak (*Quercus robur* L.) over 1-5 winters. Arbor. Kornickie, 25:199-229.
- 257.** Suszka B. et Tylkowski T., 1982. Storage of acorns of the northern red oak (*Quercus borealis* Michx. ; *Q. rubra* L.) over 1-5 winters. Arbor. Kornickie, 26:253-306.
- 258.** Taiz L. et Zeiger E., 2009. Plant physiology. 5^{ème} Ed. Massachusetts: Sinauer. 819 p.
- 259.** Thompson J. D. et Ronce O., 2010. Fragmentation des habitats et dynamique de la biodiversité. Regard R6 publié par la Société Française d'Ecologie (SFE) le 18 novembre 2010, suivi d'un débat en ligne : <https://www.sfecologie.org/regard/regards-6-thompson-ronce/>. Date de consultation le 29/12/2021.
- 260.** Tilki F., 2010. Influence of acorn size and storage duration on moisture content, germination and survival of *Quercus petraea* (Mattuschka). J. Env.Biol. 31(3) : 325- 328.
- 261.** Trabaud L., 1992. Réponses des végétaux ligneux méditerranéens à l'action du feu, Pirineos, 140 : 89-107.
- 262.** Ullmann S., 2002. Encyclopaedia of industrial chemistry, 6: 250-310.
- 263.** Veillon S., 1998. Guide technique de subériculture dans les Pyrénées-Orientales. Typologie de peuplements et étude préliminaire. Mémoire stage fin d'études FIF, ENGREF, France, 73 p.
- 264.** Vennetier M., 2004. Incendies de forêt : bilan des connaissances et des besoins pour la recherche et l'action. Forêt Méditerranéenne 25 : 323-336.
- 265.** Verliere G., 1970. Influence de l'humidité du sol sur le développement du cacaoyer. Café Cacao Thé, 14(4) : 265-273.
- 266.** Vignes E., 1990. Le traitement des taillis de chêne dans le Var. O.N.F.Arborescence. 26 :
- 267.** Vilar P., 1934. L'Espagne et le commerce mondial du liège. In : Annales de Géographie. 43(243) : 282-298.
- 268.** Villemant C. et Fraval A., 1991. La faune du chêne-liège. Insectes et acariens phyllophages. Colt. Doc. sci. Techn. Actes Editions, Rabat : 27-68.
- 269.** Villemant C. et Fraval A., 1993. Les insectes du Chêne-liège. Fiches pédagogiques, 13-16.
- 270.** Vinagre P. R., Santos L. Nóbrega F. et Varela M. C., 2005. Estudos comparativos entre as duas primeiras frutificações do sobreiro: bastão e lande. 5^a Congresso Florestal Nacional

“A Floresta e as Gentes”, Viseu (Instituto Politécnico), 16-19 de Maio de 2005. Comunicação T3-21- <http://www.esac.pt/cernas/cfn5/docs/T3-21.pdf>

271. Vogel M., 1975. Croissance rythmique du cacaoyer. Thèse de Doctorat 3^{ème} Cycle spécialité : Amélioration des Plantes. Université de Paris-sud centre d'Orsay, 113 p.

272. Wang B. S. P., 1971. The role of forest tree seed storage in gene conservation. Conservation of forest gene resources. 13th Mtg. Committee on Forest Tree Breed. Canada. Part 2. Can. For. Serv., Dep. Environ., Ottawa, pp. 25-29.

273. Wang B. S. P., 1974. Tree seed storage. Dept. Environ. Can. For. Serv. N° 1335.

274. Wang B. S. P., 1975. Stockage de semences d'arbre et de pollen en vue de la conservation génétique : possibilités et limitations, pp. 99-107. Dans Méthodologie de la conservation des ressources génétiques forestières. Rapport sur une Etude Pilote. FAO, Rome.

275. Wang B. S. P., 1982. Long term storage of Abies, Betula, Larix, Picea, Pinus, and Populus seeds, pp. 212-218.

276. Wang B. S. P., Downie B., Wetzel S., Palamarek D. et Hamilton R., 1991. Effects of cone scorching on germinability, vigour, and seed extraction efficiency of lodgepole pine (*Pinus contorta* var. *latifolia* Engelm.) seeds in Alberta. *Seed Sci. Technol.* 20: 409-419.

277. Weaver J. E., 1958. Classification of root systems of forbs of grassland and a consideration of their significance, *Ecology*, 39(03): 393-401.

278. Weigel J., 1994. Agroforesterie pratique à l'usage des agents de terrain en Afrique tropicale sèche. Collection Techniques rurales en Afrique, 208 p.

279. Willan R. L., 1992. Guide de manipulation des semences forestières (dans le cas particulier des régions tropicales). Etude FAO Forêts, 20/2. FAO Publications, Rome, 443 p.

280. Withers L. A., 1990. Tissue culture in the conservation of plant genetic resources In International Workshop on Tissue Culture for the Conservation of Biodiversity and Plant Genetic Resources, Kuala Lumpur, Malaysia. IBPGR, Rome, Italy.

281. Xia K., Daws M. I., Hay F. R., Chen W. Y., Zhou Z. K. et Pritchard H.W., 2012. A comparative study of desiccation responses of seeds of Asian Evergreen Oaks, *Quercus* subgenus *Cyclobalanopsis* and *Quercus* subgen. *Quercus*. *South Afr. J. Bot.*, 78 : 47-54.

282. Yessad S. D., 2000. Le Chêne-liège et le liège dans les pays de la Méditerranée occidentale. Louvain la Neuve. ASBL Forêt wallonne, 192 p.

283. Zaman-ALLAH M., Sifi B., L'taief B. et El Aouni M. H., 2009. Paramètres agronomiques liés à la tolérance au sel chez le haricot (*Phaseolus vulgaris* L.), *Biotech. Agron. Soc. Env.* 13 (1) : 113-119.

284. Zeraia L., 1982. Le chêne-liège, phytosociologie, édaphologie, régénération et Productivité. Institut national de la recherche forestière, 159 p.

285. Zhu J. K., 2001. Plant salt tolerance, Trends Plant Sci., 6: 66–71.

286. Zine El Abidine A., Bouderrah M., Bekkour A., Lamhamedi M. S. et 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 37(2) : 137-150.

287. Zine M., 1992. Situation et perspectives d'avenir du liège en Algérie. Actes du colloque « Les Suberaies méditerranéennes », Institut méditerranéen du liège, France.

المخلص : التوصيف، الإنبات والحفاظ على البلوط الفليني (*Quercus suber L.*) في الجزائر.

إن نقص التجدد الطبيعي الذي لوحظ في جميع أنحاء البحر الأبيض المتوسط في منطقة توزيع بلوط الفلين قد تطلب اللجوء إلى الطريقة التقليدية في التشجير لكن استمرارية عمليات التشجير هي مرهونة بتوفر الشتلات والبذور على مستوى المشاتل بسبب عدم انتظام عملية إنتاج البذور لدى هذا النوع من الأشجار من جهة و عدم التحكم في شروط التخزين من جهة أخرى لأن مثل هذا النوع يفقد حيويته بسرعة في شروط التخزين العادية. إن الهدف من هذا العمل هو دراسة (i) الخصائص المورفولوجية لبذرة البلوط الفليني مما يجعل من الممكن تحديد شروط استخدامها بدقة وفقاً للأهداف المرغوبة (ii) تقييم تأثيرات الركائز المختلفة، النقية أو المختلطة، المستخدمة في مشاتل الغابات لإنتاج شتلة بالجودة المطلوبة (iii) اختبار تأثير مدة التخزين على صلاحية البذور وجودة الشتلات في المشتل، (iv) تم إجراء دراسة حول تأثير إجهاد الملح على إنبات ونمو وتطور النباتات الصغيرة (v) واختبار حساسية البذور المنتشرة لبعض مسببات الأمراض الجذرية من جنس *Phytophthora* (*Phytophthora cinnamomi*, *Phytophthora multivora*, *Phytophthora quercina*) عن طريق عمر الجذر المتنامي في محلول الأوبوغ الحيوانية. من أجل ذلك قمنا بقطف البذور المستخدمة في الاختبارات المختلفة من غابة بلوط الفلين في حفير (تلمسان) العوانة (جيجل). تظهر النتائج التي تم الحصول عليها أن البذور المختبرة تقدم تبايناً في مستوى القياسات الحيوية بين وداخل المصدرين. ليس لهذه الاختلافات أي تأثير على إنبات فنتي البذور (الحجم الصغير والكبير)، بمعدل إنبات يتراوح بين 90 و95% للمصدرين المدروسين. بالنسبة لمعاملات النمو، لوحظ اختلاف حسب تباين الأحجام. فيما يتعلق بتأثير الركائز على النمو، تم الحصول على أفضل النتائج باستخدام ركيزة عضوية لجميع المتغيرات المدروسة. بالإضافة إلى ذلك، لوحظ تأثير سلبي لمدة التخزين على تطور المحتوى المائي للبذور وقد انعكس انخفاض حيوية البذور خلال فترات التخزين المختلفة بشكل واضح على معاملات نمو الجزء العلوي وعلى قوة الشتلات. بالنسبة لتركيز الملح، وجدنا أنه عند عتبة تركيز 5 جم / لتر من كلوريد الصوديوم، تأثرت قدرة إنبات البذور وكذلك معاملات نمو الشتلات. وأخيراً، تلخصت حساسية الجذور المنتشرة للمسببات الأمراض الميكروبيولوجية من نوع *Phytophthora* إلى انخفاض كبير في تطور الجذور مع ضمور على مستوى الجذور تهدف النتائج التي تم الحصول عليها في هذه الأطروحة إلى تزويد المشاتل والقائمين على الغابات بالمعلومات اللازمة عن الاستخدام السليم للبذور المقطوفة حديثاً والسماح بفهم أفضل لمتطلبات الحفاظ على البذور المتحصلة عليها من مصادر مختلفة من أجل ضمان استمرار الإمداد بالبذور.

الكلمات المفتاحية: بلوط الفلين، التجديد، ظهور، نمو، الركيزة، تخزين البذور، مسببات الأمراض، حفير (تلمسان)، العوانة (جيجل).

Résumé : Caractérisation, germination et conservation du chêne-liège (*Quercus suber L.*) en Algérie

La déficience de la régénération naturelle constatée partout dans la méditerranée dans l'aire de répartition de chêne-liège, a nécessité le recours à la régénération assistée par plantation artificielle. Toutefois, la continuité des opérations de reboisement est compromise par la disponibilité de plants en pépinière et de glands en raison de l'irrégularité de la glandée connue pour l'espèce et le non maîtrise des conditions de conservation des semences récalcitrantes de cette espèce qui perdent rapidement leur viabilité sous les conditions ambiantes. L'objectif de ce travail est d'étudier : (i) les caractéristiques morphologiques des glands de *Quercus suber L.* qui permet de définir avec précision les conditions de leurs utilisations en fonction des objectifs souhaités, (ii) d'évaluer les effets des différents substrats purs ou en mélange utilisés en pépinières forestières pour produire un plant de qualité requise, (iii) de tester l'effet de la durée de conservation sur la viabilité de glands et la qualité de plants en pépinière, (iv) une étude a été entreprise sur l'effet du stress salin sur la germination, la croissance et le développement des jeunes plants, et (v) de tester la sensibilité des glands en germination à certains agents pathogènes des racines du genre *Phytophthora* (*Phytophthora cinnamomi*, *Phytophthora multivora*, *Phytophthora quercina*), par trempage de la racine pivotante en croissance dans une suspension de zoospores. Le matériel végétal utilisé pour réaliser les différents essais a été récolté à partir de la subéraie de Hafir (Tlemcen) et d'El Aouana (Jijel). Les résultats obtenus montrent que les glands testés présentent une variation sur le plan biométrique inter et intraprovenance. Ces variations n'ont aucun effet sur la germination des deux catégories de glands (petite et grande taille), avec un taux de germination qui varie entre 90 et 95% pour les deux provenances étudiées. Pour les paramètres de croissances, nous avons constaté une différence en fonction de la taille des glands. En ce qui concerne l'effet des substrats sur la croissance, les meilleurs résultats ont été obtenus avec le substrat terreau et ce pour l'ensemble des paramètres étudiés. Par ailleurs, une influence négative de la durée de stockage sur l'évolution de la teneur en eau des glands a été constatée. Ainsi la baisse de vigueur des glands durant les différentes périodes de conservation a visiblement répercuté sur les paramètres de croissance de la partie aérienne et sur la vigueur des plants. Pour le stress salin, nous avons constaté qu'à partir d'une concentration de 5 g/l de NaCl, le pouvoir germinatif des glands ainsi que les paramètres de croissance des plants ont été affectés. En fin, la sensibilité des glands en germination aux infections microbiologiques par les trois espèces du genre *Phytophthora*, se traduit par une réduction significative du développement de la racine pivotante avec une apparition des lésions nécrotiques.

Les résultats obtenus dans cette thèse visent à mettre à la disposition des pépiniéristes forestiers et les gestionnaires des informations nécessaires sur l'utilisation adéquate des glands fraîchement récoltés et permettre une meilleure perception des exigences de conservation des semences récoltées de différentes provenances en perspective d'assurer un approvisionnement continu de glands.

Mots clés : Chêne-liège, régénération, levée, croissance, substrat, conservation des glands, agents pathogènes, Hafir (Tlemcen), El Aouana (Jijel).

Abstract: Characterisation, germination and conservation of cork oak (*Quercus suber L.*) in Algeria

The deficiency of natural regeneration observed throughout the Mediterranean in the range of the cork oak has necessitated the use of assisted regeneration by artificial planting. However, the continuity of reforestation operations is compromised by the availability of nursery seedlings and acorns due to the known irregularity of acorn production for the species and the lack of control over the conservation conditions of the recalcitrant seeds of this species, which rapidly lose their viability under ambient conditions. The objective of this work is to study: (i) the morphological characteristics of the acorns of *Quercus suber L.* (ii) to evaluate the effects of different substrates, pure or mixed, used in forest nurseries to produce a plant of the required quality, (iii) to test the effect of storage time on the viability of acorns and the quality of nursery plants, (iv) a study was undertaken on the effect of salt stress on germination, growth and development of seedlings, and (v) to test the susceptibility of germinating acorns to certain root pathogens of the genus *Phytophthora* (*Phytophthora cinnamomi*, *Phytophthora multivora*, *Phytophthora quercina*), by dipping the growing taproot in a suspension of zoospores. The plant material used for the different trials was collected from the Hafir (Tlemcen) and El Aouana (Jijel) provenance. The results obtained show that the acorns tested have a biometric variation between and within sources. These variations have no effect on the germination of the two categories of acorns (small and large size), with a germination rate varying between 90 and 95% both provenances studied. For the growth parameters, a difference was found depending on the size of the acorns. As regards, the effect of the substrates on growth, the best results were obtained with the potting soil substrate for all the parameters studied. In addition, a negative influence of the storage duration on the evolution of the water content of the acorns was observed and the decrease in the vigour of the acorns during the different storage periods visibly affected the growth parameters of the aerial part and the vigour of the plants. In the case of salt stress, we found that at a concentration of 5 g/l NaCl, the different germination capacity of the acorns as well as the growth parameters of the plants were affected. Finally, the susceptibility of germinating acorns to microbiological infection by the three species of the *Phytophthora* genus was shown to be significantly reduced by the development of the taproot with the appearance of necrotic lesions.

The results obtained in this thesis are intended to provide forest nurseries and managers with the necessary information on the proper use of freshly harvested acorns and to allow a better perception of the conservation requirements of harvested seeds of different provenances in order to ensure a continuous supply of acorns.

Keywords: Cork oak, regeneration, raising, growth, substrate, storage of acorns, pathogens, Hafir (Tlemcen), El Aouana (Jijel).

Effects of substrate on the germination and seedling growth of *Quercus suber* L.

Djamel Kholkhal* & Benamar Benmahioul

Laboratory: Conservatory Management of Water, Soil and Forests and Sustainable Development of Mountainous Areas of the Tlemcen region, Department of Forest Resources, Faculty of Nature and Life Sciences and Earth and Universe Sciences, Abou Bekr Belkaid University of Tlemcen, BP 119 13000, Tlemcen, Algeria; ORCID: DK <https://orcid.org/0000-0003-0529-7109>; BB <https://orcid.org/0000-0002-5620-3742>
* corresponding author (e-mail: djamel_agro@yahoo.fr)

Abstract. The seedling quality is one of the most important factors for the success of reforestation programs. In this sense, this work aimed to evaluate the effects of substrate on the germination of cork oak acorns from El Aouana forest, located in the Jijel region of north-eastern Algeria, and on the performance of seedlings, particularly their growth. The experiment was performed in the nursery of the Tlemcen Forest Conservation. For this purpose, five substrates were used: S1 (sand), S2 (topsoil), S3 (potting soil), S4 (1/2 sand + 1/2 topsoil) and S5 (1/3 sand + 1/3 topsoil + 1/3 potting soil). Germination and survival rates, and seedling morphological traits: average height of seedlings, average root collar diameter, stem height/root collar diameter ratio (H/D), average number of leaves per plant, leaf length, leaf width and leaf area, were evaluated. Results obtained after 16 months of monitoring in the nursery showed high germination rates of 91.4%, with an average survival rate of 89.5%, and significant differences were recorded between the substrates tested. In terms of growth, the best results were obtained with the potting soil substrate (S3) for all parameters. The lowest yields were recorded in seedlings grown on sand alone (S1).

Key words: cork oak, substrates, growth parameters, nursery, El Aouana-Jijel

1. Introduction

The cork oak *Quercus suber* L. of the Fagaceae family, is an evergreen sclerophyllous oak restricted to the western part of the Mediterranean Basin, whose origin dates back to the Tertiary (Natividade 1956; Tutin *et al.* 1964). It is part of the upper Pliocene flora (Lamey 1893; Emberger 1930; Vilar 1934; Boudy 1950; Quezel 2000; Manos & Stanford 2001; Merouani *et al.* 2001). It is part of the upper Pliocene flora (Lamey 1893; Emberger 1930; Vilar 1934; Boudy 1950; Quezel 2000; Manos & Stanford 2001; Merouani *et al.* 2001). The range of this species covers approximately 2,7 million hectares (Mendes & Graca 2009). The largest areas are in the Iberian Peninsula, particularly in Portugal and Spain, corresponding to more than 50% of the global distribution area (Silva & Catry 2006). Cork oak is also present in other southern European countries, including France and Italy, and in North Africa, Algeria, Morocco and Tunisia.

In Algeria, the cork forests initially covered an area varying between 410,000 and 480,000 ha (Saccardy 1937; Boudy 1952; Natividade 1956; Seigue 1985;

Richard 1987; Iprocor 1999; Quezel & Medail 2003), and extended over the territory of 23 departments, from the Mediterranean coast in the North to the Tellian mountain range in the South, with 4/5 of them in the east of the country (Bouhraoua *et al.* 2014). Currently, 220,000 ha are productive. The low cork production in recent years is mainly due to decline of the cork production areas (Dehane *et al.* 2013). This regression is the result of many factors, including low natural regeneration, repeated fires on the same plots, pest attacks, competition from other woody species, tree aging and overgrazing.

The problem of regeneration of the cork oak was posed to foresters as early as 1930 (Marion 1955). Natural regeneration by seeds does not occur every year. It depends on years of good fruiting and good density and spatial distribution of a forest stand (El Antry & Piazzetta 2014; Varela & Piazzetta 2014). Indeed, the stock of acorns, the main source of generative stand regeneration, suffers great losses on the ground and on the tree, due to multiple predators: wild boars, deer, rodents, birds, insects, as well as man and his animals, which are very active and feed both on acorns and seedlings.

To this must be added the low and irregular acorn production (Nsibi 2005). To overcome these difficulties, artificial regeneration is an interesting alternative.

The production of forest seedlings with the required biological and physiological characteristics to ensure their survival and growth after transplantation is an essential step for successful reforestation programs (Ammari *et al.* 2006).

Many researchers have been interested in producing growing substrates that meet the requirements of a forest plant and improve its ability to resist transplanting stress (Landis 1990; Miller & Jones 1995; Benmahioul *et al.* 2010; M'sadak *et al.* 2012). Substrate preparation is still an issue in most of our forest nurseries, as we continue to use traditional soil and sand mixtures of poor physical and chemical quality.

In this context, the aims of this study were (i) to assess whether the substrates used to grow cork oak seedlings in the nursery affect the germination of acorns and (ii) to examine whether the substrate tested has an effect on the performance of the seedlings, particularly their growth. We hypothesized that (i) the potting soil substrate is more favourable to germination than the other substrates studied and (ii) the growth of seedlings in the nursery is conditioned by the nature of the substrate used.

2. Material and Methods

Acorns were harvested at maturity in November 2018 from ten trees selected from a natural cork oak stand of the state forest of El-Aouana-Jijel, located in eastern Algeria (36°45'29.11"N and 05°39'57.60"E) with an altitude of 30 m; 860 mm of annual average precipitation and 17.35°C of annual average temperature. After sorting and cleaning, the acorns were placed in plastic bags and stored in a refrigerator at +4°C until use.

The experiment was conducted in the nursery of the Tlemcen Forests Conservation in a greenhouse backed by steel and glass walls with an east-west orientation, ventilated by windows placed laterally on both sides and heated in winter by heating devices to better manage seedlings growth.

2.1. Determination of moisture content

In the cork oak, as in other species of the genus *Quercus*, the germination rate decreases with the decrease of acorns' moisture content (Schroeder *et al.* 1987). The moisture content level (TE) of fresh acorns was determined on 5 replicates of 10 acorns, weighed separately to determine fresh weight (Pf) using an electronic scale (OHAUS). Their dry weight (Ps) was measured after drying at 103°C for 17h (ISTA 1999). The moisture content, expressed as a percentage

of the acorn fresh weight (Willan 1992; ISTA 2009) was calculated by the formula: $TE = 100 \times (Pf - Ps)/Pf$

2.2. Acorn germination

Fresh acorns (3 to 5 days after harvest) were sowed, only one acorn per polyethylene WM container (height: 17 cm, length: 8 cm, width: 5 cm, weight: 22 g, volume: 400 cm³), without any pre-treatment. Five substrates were used to examine their effects on seedling germination and development: sand (S1), topsoil (S2), potting soil (S3), 1/2 sand + 1/2 topsoil (S4), and 1/3 sand + 1/3 topsoil + 1/3 potting soil (S5). These substrates were chosen because they are widely used for seedling production of many fruit and forest species (Piva *et al.* 2013).

Two replicates of 30 acorns – 60 acorns/substrate, i.e., in total, 300 acorns were used in this experiment. Watering was done every two days using a gardener's watering can and repeated as needed. No fertilisation was applied to the young seedlings. The number of emerged seedlings was counted weekly and their growth was monitored for 68 weeks at a temperature of 18°C/25 °C ± 2°C (night/day). An acorn is considered to be germinated when the radicle pierces the pericarp and manifests its positive geotropism.

2.3. Measured variables and data analysis

The variables measured per substrate were: average acorn germination rate (%), seedling survival rate (%), average seedling height H (cm), root collar diameter D (mm), stem height/root collar diameter ratio (H/D), average number of leaves per seedling, leaf length and width (cm) and leaf area (cm²). For each treatment, the monthly average of the quantitative variables for each plant was calculated at the end of each month, during the 16 months of follow-up in the nursery, and then, the final average for all months was calculated at the end of the experiment.

The mean values of studied parameters were calculated and then entered into a database in Excel 2007 format. The effect of the growing substrates on different parameters was assessed using one-way ANOVA, with software R 2.2.0. The Shapiro-Wilk and Levene tests were used to verify the normality and homogeneity of variances of the data. A comparison of means was made using Tukey test (Couty *et al.* 2014). Results were considered significant at $p < 0.05$.

3. Results

3.1. Effect of substrates on acorn germination

The acorns used in this experiment had 45.35% moisture content. The average germination rate (%) was determined starting from the 35th day after sowing

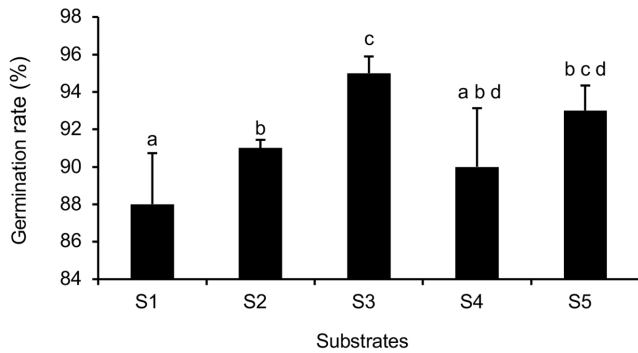


Fig. 1. Germination rates of cork oak seedlings grown on different substrates (S1: sand, S2: topsoil, S3: potting soil, S4: 1/2 sand + 1/2 topsoil, and S5: 1/3 sand + 1/3 topsoil + 1/3 potting soil). Bars above the histograms are the standard deviations; significant differences at $P < 0.05$ are shown by different letters

in sand and from the 28th day for other substrates. The germination rates of cork oak acorns were influenced by the type of growing substrate used. The highest average rates were recorded for potting soil (substrate 3) and the sand/topsoil/potting soil mixture (substrate 5) with values of 95% and 93%, respectively. Sand alone (substrate 1), sand/topsoil (substrate 4) and topsoil alone (substrate 2), gave average rates of 88%, 90% and 91%, respectively (Fig. 1).

The comparison of the means revealed a significant differences between the substrates tested ($p=0.0006$). It should be noted that after the fourth week, the germination kinetics followed the same pattern for all substrates (Fig. 2).

To determine the survival rate, both dead and living plants were counted over a period of 16 months. It was defined as the ratio of the number of dead seedlings to the number of emerged seedlings per 100. Analysis of Fig. 3 shows that the survival of seedlings was significantly affected by the substrate used. Indeed, the survival rates varied between 85 and 95% recorded respectively for plants raised on sand (S1) and potting soil (S3).

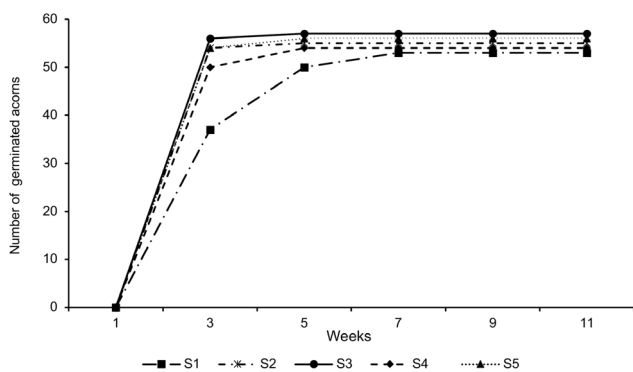


Fig. 2. Acorn germination kinetics per tested substrate

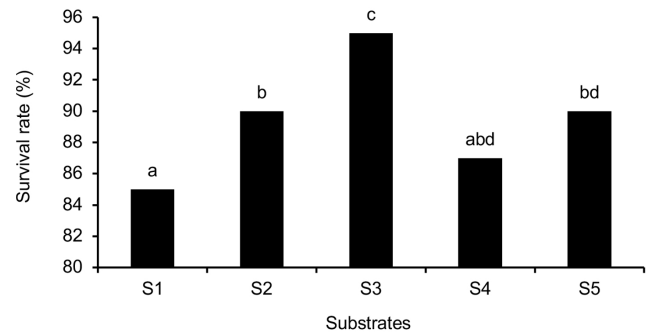


Fig. 3. Survival rates of cork oak seedlings grown on different substrates (S1: sand, S2: topsoil, S3: potting soil, S4: 1/2 sand + 1/2 topsoil, and S5: 1/3 sand + 1/3 topsoil + 1/3 potting soil). Significant differences at $P < 0.05$ are shown by different letters

3.2. Effect of substrates on growth parameters

3.2.1. Seedling height

Seedling height was influenced by the type of growing substrate in a highly significant way ($p < 0.000$). Indeed, the obtained average heights formed three different groups: the first group contained plants with the highest growth raised on the potting soil substrate (S3=39.05 cm), the second group consisted of seedlings of average size grown in two mixtures – sand/topsoil (S4=26.51 cm) and sand/topsoil/ potting soil (S5=27.82 cm). Finally, the third group contained seedlings with a below-average size obtained on the sand (S1=17 cm) and topsoil (S2=20.43 cm) substrates with the respective growth differences of 18.62 and 22.05 cm compared with that recorded for the potting soil substrate (Fig. 4).

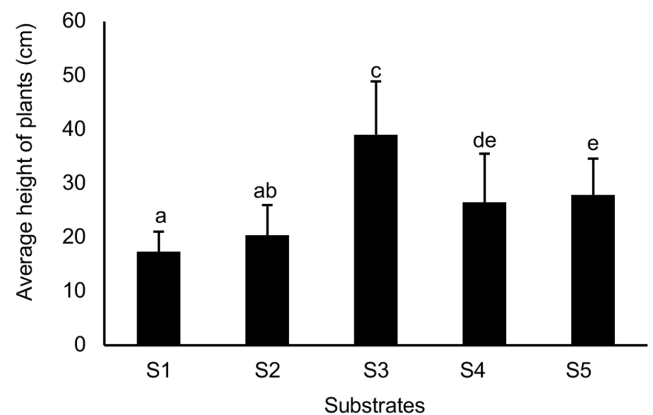


Fig. 4. Average heights of cork oak seedlings grown on different substrates (S1: sand, S2: topsoil, S3: potting soil, S4: 1/2 sand + 1/2 topsoil, and S5: 1/3 sand + 1/3 topsoil + 1/3 potting soil). Bars above the histograms are the standard deviations; significant differences at $P < 0.05$ are shown by different letters. (nS1=53; nS2=55; nS3=57; nS4=54; nS5=56)

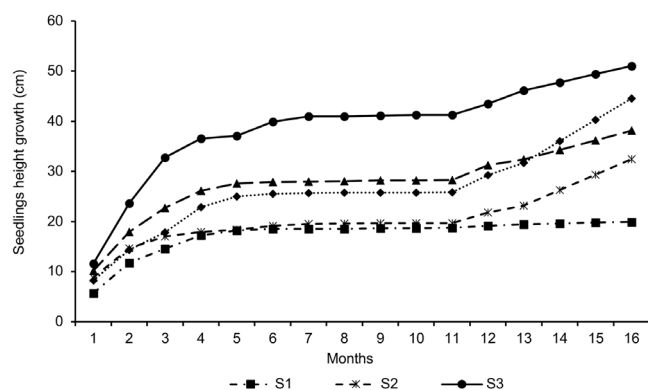


Fig. 5. Changes in the growth of cork oak seedlings on different substrates

The analysis of the average heights of plants grown on various substrates in the nursery for 16 months shows that the growth of the stem axis is rhythmic and characterized by successive three phases (Fig. 5). The first phase corresponds to the emergence and then the rapid growth of the seedlings, with a duration of about 16 to 20 weeks. During this period, an increase in seedling height varied depending on the type of substrate tested. The highest value (40 cm) was recorded in the plants grown on the potting soil substrate (S3), compared to only 18.5 cm, 19 cm, 25.5 cm and 28 cm measured for the sand (S1), topsoil (S2), sand/topsoil (S4) and sand/topsoil/potting soil (S5) substrates, respectively. A second phase of about 24 weeks was characterized by weak or slowed growth in the majority of seedlings grown on different substrates. The third phase began from the 11th month and was characterized by restarting growth, more marked for the plants grown on the potting soil substrate (S3). Indeed, a difference was observed between the cumulative growth recorded for this substrate (S3=51 cm) and other substrates: S4, S5, S2 and S1, where the average heights were 44.5 cm, 38 cm, 32.5 cm and 20 cm, respectively.

3.2.2. Root collar and stem diameter

The development of root collar diameter was slightly influenced by the substrate type (Fig. 6). Potting soil (S3) supported the highest radial growth (5 mm) after 68 weeks. Seedlings grown in sand (S1), topsoil (S2), 1/2 sand + 1/2 topsoil (S4) and 1/3 sand + 1/3 topsoil + 1/3 potting soil (S5) had average collar diameters of 3.7 mm, 3.8 mm, 4 mm and 4.2 mm, respectively.

The stem height/root collar diameter ratio (H/D, cm/mm) varied with the sowing substrates used (Table 1). The highest ratio (7.6) was recorded for potting soil (S3). The other substrates: sand (S1), topsoil (S2), 1/2 sand + 1/2 topsoil (S4) and 1/3 sand + 1/3 topsoil + 1/3

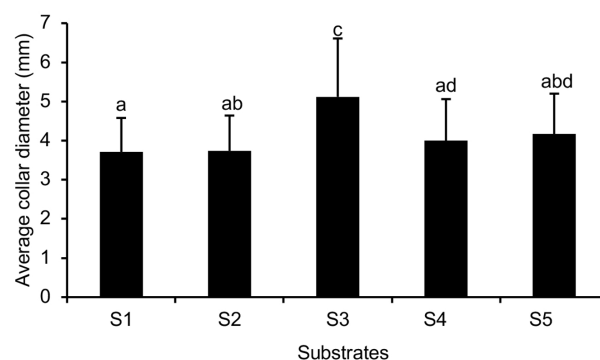


Fig. 6. Average root collar diameters of cork oak seedlings grown on different substrates (S1: sand, S2: topsoil, S3: potting soil, S4: 1/2 sand + 1/2 topsoil, and S5: 1/3 sand + 1/3 topsoil + 1/3 potting soil). Bars above the histograms are the standard deviations; significant differences at $P < 0.05$ are shown by different letters

Table 1. Stem height/root collar diameter (H/D, cm/mm) ratio of cork oak seedlings grown on different substrates S1: sand, S2: topsoil, S3: potting soil, S4: 1/2 sand + 1/2 topsoil, and S5: 1/3 sand + 1/3 topsoil + 1/3 potting soil. Significant differences at $P < 0.05$ are shown by different letters

Substrate	H/D ratio
S1	4.66 a
S2	5.46 b
S3	7.62 c
S4	6.62 d
S5	6.67 d
Average	6.20

potting soil (S5), showed ratios of 4.46; 5.46; 6.62 and 6.67, respectively.

3.2.3. Leaf development

The trend of foliar organogenesis, expressed as an average number of leaves per stem and leaf area was similar to that observed for height increase. The variability of leaf number per plant revealed highly significant differences between the substrates tested, with the exception of the two mixtures: 1/2 sand + 1/2 topsoil (S4) and 1/3 sand + 1/3 topsoil + 1/3 potting soil (S5), where the comparison of the means showed that they were not significantly different at $p < 0.05$ with respective averages of 46.5 and 47.5 leaves/plant (Table 2). Topsoil (S2) and sand (S1) had the lowest yields with 32 and 22 leaves/seedling, respectively.

The same tendencies were observed for leaf area, which varied significantly with substrate. The best values (3.8 and 3.1 cm²) were recorded for the plants grown in potting soil (S3) and sand/topsoil/potting soil mixture (S5), respectively. The lowest leaf area was observed on sand (S1), with a value of 1.7 cm². A

Table 2. Average measurement values for different leaf parameters of cork oak seedlings grown on different substrates. Values in the same column denoted by the same letter do not differ significantly at $P < 0.05$

Substrates	Number of leaves/plant	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Leaf area (cm ²)
S1	22.00 a	3.76 a	2.29 a	1.74 a
S2	32.00 b	4.08 a	2.40 a	2.25 b
S3	59.40 c	4.82 c	2.74 c	3.83 c
S4	46.50 d	4.13 a	2.36 a	2.31 bd
S5	47.50 de	4.38 ae	2.61 ce	3.12 e
Averages	41.48	4.23	2.48	2.65

non-significant difference was recorded between the averages for topsoil (S2) and 1/2 sand + 1/2 topsoil (S4) (Table 2).

The longitudinal and transverse growth of leaves follows precisely an identical pattern in the different substrates. Potting soil (S3) seems to be the most favourable for the development of cork oak leaves. Leaf length varied between 3.8 and 4.8 cm, while width from 2.3 to 2.7cm (Table 2). The comparison of averages showed that the differences between them were significant only for the potting soil S3 and the mixture 1/3 sand + 1/3 topsoil + 1/3 potting soil (S5), while for the other substrates, they were not significant at $p < 0.05$.

4. Discussion

4.1. Germination of acorns

The obtained results of germination rates and analysis of variance showed that the effect of substrate was significant. The highest percentage of germination was recorded with acorns sown on potting soil. These results are comparable to those obtained by Sarir & Benmahiou (2017) in three oak species (Holm oak, Cork oak and Zen oak) grown in nurseries, and by Cemagref (1983) and Vinagre *et al.* (2005), who considered that cork oak acorns have very high germination rates, more than 80%, if they are handled properly. It is possible that the high seedling germination rate obtained with potting soil substrate (S3) is due to its characteristics, i.e., the excellent storage capacity of water and oxygen (Alvino & Rayol 2007). These factors provide a very good environment for the activation of enzymes responsible for the hydrolysis of reserve substances in seeds, to start germination process and seedlings emergence (Taiz & Zeiger 2009; Piva *et al.* 2013).

Furthermore, after germination and emergence, a loss of 5 to 15% of plants was observed in all substrates. This could be due to multiple causes. Thus, Koumiche and Benmahiou (2016) observed that Holm oak seedlings growing on a substrate composed of top-

soil had a high mortality rate. According to the same authors, this is due to pathogens, in particular, fungi responsible for damping-off disease. These parasites have resting forms that allow them to persist in the soil and subsequently cause new infections. Abourouh *et al.* (1995) and Benmahiou *et al.* (2010) also reported a relationship between root mortality of plants due to attacks by phytopathogenic fungi, such as *Phytophthora*, and the lack of aeration of certain substrates. On the other hand, Assi *et al.* (2018), asserted that the poor quality of root systems of seedlings grown in containers and left in them for too long is one of the major causes of young plant dieback and mortality.

4.2. Seedling growth parameters

Biometric measurements on young seedlings showed significant differences between substrates tested for the growth parameters. At the end of the 16 months of observations, the best results were obtained for the potting soil. The growth levels recorded for this substrate can be justified by its high organic and mineral matter content compared to other types of substrates used, particularly sand. M'Sadak *et al.* (2013) reported that in the nursery, the physical properties of the growing substrates are among the determining factors of the morphological quality of seedlings. Weaver (1958) has long shown that root morphology can be modified by environmental factors, such as: the seed size and type and structure of the substrate. Moreover, Hillel (1982), Landis (1990), Lamhamedi *et al.* (2000), and Lamhamedi *et al.* (2006) have shown the influence of the physical characteristics of the substrate on all root functions, including the absorption of water and mineral elements necessary for plant growth and development.

The comparison of the mean values of root collar diameters also shows the dominance of plants from potting soil substrate (S3). The plants grown on sand substrate (S1), apart from poor growth in height, showed also the lowest radial growth. Overall, the diameters obtained are acceptable and these results agree with

those of Lamhamedi *et al.* (2000), Bouchaour-Djabeur *et al.* (2011) and El Boukhari *et al.*

According to our research, the use of organic substrate had a positive effect on stem height/root collar diameter ratio obtained after 16 months of growing. This ratio was significantly higher than the standard ratio for potting soil compared to other substrates. This may be due to the composition of this substrate. According to Lamhamedi *et al.* (1997, 2000), this ratio should be lower than 8 when the plant reaches a target of 28 to 40 cm and the root collar diameter varies between 4 and 5mm. Our findings confirm those of Bouchaour-Djabeur *et al.* (2011) and Zine El Abidine *et al.* (2016) for cork oak seedlings.

The analysis of the effects of substrates on leaf organogenesis trends showed that the tested substrates significantly affected the number of leaves per plant, as well as the leaf area. The observed lower values of these two parameters measured for seedlings grown on sand (S1) and topsoil (S2) are mainly related to these substrate textures. Indeed, Guehl *et al.* (1989) reported a significant effect of substrate type on the photosynthetic characteristics and leaf area of *Cedrus atlantica* Manetti. The use of a substrate composed of soil organic matter (S3) significantly increased the number of leaves per plant and the leaf area. These observations confirm those reported by Benseighir-Boukhari & Argillier (2006) for *Quercus suber* L. and those of Hamidi *et al.* (2017) for *Pistacia vera* L. According to the studies of Weigel (1994) and Schippers (2007), conducted in a nursery, a good substrate must be composed of easily degradable organic matter to give good results. In terms of leaf

growth and development, our findings agree with those found by Piazzetta (2005) for the same species.

5. Conclusion

This study presents the results of experiment on the germination and seedlings growth of *Quercus suber* L. on different substrates.

It was found that the use of substrate rich in organic matter gave very satisfactory germination rates compared to other substrates. As for biometric parameters expressed statistically, we have shown that the best results for different growth parameters considered were obtained with the potting soil (S3) substrate. These results were comparatively superior to other substrates, i.e., to classic substrates used in forest nurseries in Algeria (sand S1 and topsoil S2). For cultivated plants, the S3 substrate can be recommended for the production of seedlings from seeds, as it guarantees vigorous and early seedlings with a shorter stay in the nursery, and therefore a reduction in production costs. However, other complementary and diversified studies, both in a nursery and on reforestation sites, are needed to validate the most appropriate substrates for the production of cork oak seedlings.

Author Contributions

Research concept and design: B. Benmahioul

Acquisition and/or assembly of data: D. Kholkhal

Data analysis and interpretation: D. Kholkhal, B. Benmahioul

Drafting the article: D. Kholkhal

Critical revision: B. Benmahioul

Final approval: D. Kholkhal, B. Benmahioul

References

- ABOUROUH M., LAMHAMED M. S. & FORTIN J. A. 1995. Techniques de mycorhization en pépinière des plants forestiers. Centre national de recherche forestière. Maroc. ISBN: 9981-824-05-4. 37.
- ALVINO F. O. & RAYOL B. R. 2007. Different substrate effects in the germination of *Ochroma pyramidale* (cav. ex lam.) urb. (bomacaceae). Ciên. Flor. 17(1): 71-75.
- AMMARI Y., LAMHAMED M. S., AKRIMI N. & ZINE EL ABIDINE A. 2006. Qualités physiologiques de jeunes plants de Pin d'Alep élevés en pépinière moderne sur différents substrats à base de compost. Geo-Eco-Trop. 30(1): 11-24.
- Assi E. M., DOGBO O. D., KASSIN E., ASSIRI A. A., TAHI G. M., GUIRAUD B., N'GUESSAN W. P., AKA R. A., N'GUESSAN F. & KONE B. 2018. Détermination de l'âge optimal en pépinière des plants de cacaoyer pour une meilleure réussite au champ. African Crop Science Journal 26(4): 491-501. DOI: 10.4314/acsj.v26i4.4
- BENMAHIOUL B., KHELIL B., KAÏD-HARCHE M. & DAGUIN F. 2010. Etude de la germination et de l'effet du substrat sur la croissance de jeunes semis de *Pistacia vera* L. Acta Botanica Malacitana 87(35): 87-94. DOI:10.24310/abm.v35i0.2865
- BENSEIGHIR-BOUKHARI L. A. & ARGILLIER C. 2006. Amélioration des techniques de production hors-sol du chêne-liège: conteneurs et substrat. Ann. Rech. For. Algérie 12: 9-21.
- BOUCHAOUR-DJABEUR S., BENABDELI K., BEJAMAA M. L. & STITI B. 2011. Déprédation des glands de chêne liège par les

- insectes et possibilités de germination et de croissance des semis. *Géo-Eco-Trop.* 35: 69-80.
- BOUDY P. 1950. Economie forestière Nord-Africaine. Tome 2: Monographie et traitement des essences forestières. 525 pp. Larousse, Paris.
- BOUDY P. 1952. Guide du forestier en Afrique du Nord. 509 pp. Maison rustique, Paris.
- BOUHRAOUA R. T., PIAZZETTA R. & BERRIAH A. 2014. Les reboisements en chêne-liège en Algérie, entre contraintes écologiques et exigences techniques. *Forêt méditerranéenne* 35(2): 171-176.
- CEMAGREF 1983. Régénération ARTIFICIELLE des chênes: note technique, 50.
- COUTY E., DEBORD J. & FREDON D. 2014. Mini Manuel de Probabilités et statistique. 2 Ed. 256 pp. Cours + Annales + Exos. Dunod.
- DEHANE B., BOUHRAOUA R. T., BELHOUCINE L. & HAMAN F. Z. 2013. La filière liège algérienne, entre passé et présent. *Forêt méditerranéenne* 34(2): 143-152.
- EL ANTRY S. & PIAZZETTA R. 2014. Les techniques de régénération du chêne-liège au Maroc. *Forêt méditerranéenne* 35(2): 161-170.
- EL BOUKHARI M., GMIRA N. & BRHADDA N. 2013. Effet des traitements physiques sur la croissance et le développement des semis de glands de chêne liège *Quercus suber* L. en pépinière forestière au Maroc. *Geo-Eco-Trop.* 37(2): 177-190.
- EMBERGER L. 1930. La végétation de la région méditerranéenne. Essai d'une classification des groupements végétaux. *Revue Générale de Botanique* (43): 641-709.
- GUEHL J. M., FALCONNET G. & GRUEZ J. 1989. Caractéristiques physiologiques et survie après plantation de plants de *Cedrus atlantica* élevés en conteneurs sur différents types de substrats de culture. *Annales des sciences forestières, INRA/EDP Sciences* 46(1): 1-14.
- HAMIDI Y., SNOUSSI S. A. & CHAOUIA CH. 2017. Effet de quelques mélanges des substrats sur la production des portes greffées du pistachier vrai *Pistacia vera* L. en pépinière. *Revue Agrobiologia* 7(1): 218-224.
- HILLEL D. 1982. Introduction to soil physics. USA, San Diego, Academic Press.
- IPROCOR 1999. Manuel didactique de l'éleveur et de l'ouvrier spécialisé dans les travaux d'exploitation du chêne-liège. 231 pp. Projet Leosuber, version française.
- ISTA (International Seed Testing Association) 1999. International rules for seed testing. *Seed Science and Technology* 27: 1-333.
- ISTA 2009. Règles internationales pour les essais de semences. Association Internationale d'Essais de Semences, Zurichstr. 50, 8303 Bassersdorf, Suisse.
- KOUMICHE F. & BENMAHIOL B. 2016. Effet de quelques traitements physiques sur la germination des glands et la croissance ultérieure des plants de chêne vert *Quercus rotundifolia* (Lam.). *Algerian Journal of Arid Environment* 6(2): 83-92. DOI: 10.12816/0046026.
- LAMEY A. 1893. Chêne-liège, sa culture et son exploitation. Berger Levrault et Cie, Nancy, Paris, pp. 168-209.
- LAMHAMEDI M. S., FORTIN J. A., AMMARI Y., BEN JELLOUN S., POIRIER M., FECTAU B., BOUGACHA A. & GODIN L. 1997. Evaluation des composts, des substrats et de la qualité des plants (*Pinus pinea*, *Pinus halepensis*, *Cupressus sempervirens* & *Quercus suber*) élevés en conteneurs. Projet Banque mondiale N° 3601. 130 pp. Direction Générale des Forêts, Tunisie. Pampev Internationale, Montréal, Canada.
- LAMHAMEDI M. S., AMMARI Y., BERTRAND F., FORTIN J. A. & MARGOLIS H. 2000. Problématique des pépinières forestières en Afrique du Nord et stratégie de développement. *Cahiers Agriculture.* 9: 369-380.
- LAMHAMEDI M. S., FECTEAU B., GODIN L. & GINGRAS C. 2006. Guide pratique de production en hors sol de plants forestiers, pastoraux et ornementaux en Tunisie. 80 pp., 13 annexes. Pampev Internationale, Québec, Canada. ISBN: 9973-914-08-2.
- LANDIS T. D. 1990. Containers and growing media, Vol II. The container Tree Nursery Manual. *Agric. Handbk.* 674: 41-85 pp. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service.
- M'SADAK Y., ELOUAER M. A. & EL KAMEL R. 2012. Évaluation des substrats et des plants produits en pépinière forestière. *Revue Bois et Forêts des Tropiques (BFT)* 313(3): 61-71.
- M'SADAK Y., HAMDI W. & ZAALANI CH. 2013. Production et croissance des plants d'Acacia sur des substrats à base de tamisât de compost dans une pépinière hors sol (Tunisie). *Revue Agriculture* 6: 29-34.
- MANOS P.S. & STANFORD M. A. 2001. The historical biogeography of Fagaceae: tracking the tertiary history of temperate and subtropical forests of the northern hemisphere. *International Journal of Plants Sciences.* Univ. Chicago, 1058-5893. DOI: 10.1086/323280.
- MARION J. 1955. Observation sur la sylviculture du chêne liège dans le massif forestier Zaïan Zemmour ou plateau d'Oulmes (Maroc). *Annal de Recherche Forestière de Rabat, Rapports annuels, 1953-1954*, 2, 25-57.
- MENDES A. M. S. C. & GRAÇA J. A. R. 2009. Cork bottle stoppers and other cork products. In: J. Aronson, J. S. Pereira, J. G. Pausas (eds.). *Cork oak woodlands on the edge: Ecology adaptive management and restoration*, pp. 59-69. USA: Island Press, Washington DC.
- MEROUANI H., BRANCO C., ALMEIDA M. H. & PEREIRA J. S. 2001. Comportement physiologiques des glands de chêne liège (*Quercus suber* L.) durant leur conservation et variabilité inter-individus producteurs. *Annals of Forests, Sciences*, 58. INRA, EDP Sciences, 143-153. DOI: 10.1051/forest:2001114.
- MILLER J. H. & JONES N. 1995. Organic and compost-based growing media for tree seedling nurseries. *World Bank Technical Paper, Forestry series* 264, 75 pp.
- NATIVIDADE J. V. 1956. La Subericulture. Ed. Française de l'ouvrage portugais «Subericultura». 311 pp. ENEF, Nancy, France.
- NSIBI R. 2005. Sénescence et rajeunissement des subéraies de Tabarka-Ain Draham avec approches écologiques et biotechnologiques. Thèse de Doctorat, Faculté des Sciences, Université Tunis II.
- PIAZZETTA R. 2005. La levée du liège, guide technique et de vulgarisation, institut Méditerranéen du liège. 23 pp. Belgique.

- PIVA A. L., MEZZALIRA E. J., SANTIN A., SCHWANTES D., KLEIN J., RAMPIM L., VILLA F., TSUTSUMI C.Y. & NAVA G. A. 2013. Mergence and Initial Development of Cape Gooseberry (*Physalis peruviana*) Seedlings with Different Substrates Compositions. *African Journal of Agricultural Research*, 8: 6579-6584. DOI: <http://dx.doi.org/10.5897/AJAR2013.9787>.
- QUEZEL P. 2000. Réflexions sur l'évolution de la flore et de la végétation au Maghreb méditerranéen. 117 pp. Ibis Press, Paris.
- QUEZEL P. & MEDAIL F. 2003. Ecologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen. 592 pp. Elsevier, Paris.
- RICHARD P. 1987. Étude des facteurs explicatifs de la croissance du chêne-liège dans le Var. 72 pp. Aix-en-Provence: CEMAGREF. Mémoire ENITEF.
- SACCARDY L. 1937. Notes sur le chêne-liège et le liège en Algérie. *Bulletin. Statistique. de Recherche. de. L'Afrique du Nord* 2(2): 271-374.
- SARIR R. & BENMAHILOUL B. 2017. Etude comparative de la croissance végétative et du développement de jeunes semis de trois espèces de chênes (chêne vert, chêne liège et chêne zéen) cultivés en pépinière. *Agriculture and Forestry Journal* 1(1): 42-48. DOI: 10.5281/zenodo.810092.
- SCHIPPERS C. 2007. Valorisation des pépinières villageoises, Rapport de mission, Projet DACEFI, Nature + Gembloix, 47p.
- 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(1): 22-24.
- SEIGUE A. 1985. La forêt circumméditerranéenne et ses problèmes. Techniques agricoles et productions méditerranéennes. Mémoires et Documents de Géographie. 502 pp. Nouvelle série. ACCT. Maisonneuve et Larose, Paris.
- SILVA J. S. & CATRY F. 2006. Forest fires in cork oak (*Quercus suber* L.) stands in Portugal, *International Journal of Environmental Studies* 63(3): 235-257. DOI: 10.1080/00207230600720829.
- TAIZ L. & ZEIGER E. 2009. *Plant physiology*. 5 Ed. 819 pp. Massachusetts Sinauer.
- TUTIN T. G., HEYWOOD V. H., BURGESS N. A., VALENTINE D. H., WALTERS S. M. & WEBB D. A. 1964. *Flora Europaea*, Vol. 1: Lycopodiaceae to Platanaceae. Cambridge University Press, New York. DOI: 10.5281/zenodo.302862.
- VARELA M. C. & PIAZZETTA R. 2014. Méthodes de régénération du chêne-liège au Portugal. *Forêt méditerranéenne* 35(2): 101-108.
- VILAR P. 1934. L'Espagne et le commerce mondial du liège. In: *Annales de Géographie* 43(243): 282-298.
- VINAGRE P. R., SANTOS L. NÓBREGA F. & VARELA M. C. 2005. Estudos comparativos entre as duas primeiras frutificações do sobreiro: bastão e lande. 5^a Congresso Florestal Nacional "A Floresta e as Gentes", Viseu (Instituto Politécnico), 16-19 de Maio de 2005. Comunicação T3-21- <http://www.esac.pt/cernas/cfn5/docs/T3-21.pdf>
- WEAVER J. E. 1958. Classification of root systems of forbs of grassland and a consideration of their significance. *Ecology* 39(03): 393-401.
- WEIGEL J. 1994. Agroforesterie pratique à l'usage des agents de terrain en Afrique tropicale sèche. 208 pp. Collection Techniques rurales en Afrique.
- WILLAN R. L. 1992. Guide de manipulation des semences forestières (dans le cas particulier des régions tropicales). 443 pp. Etude FAO Forêts, 20/2. FAO Publications, Rome.
- ZINE EL ABIDINE A., BOUDERRAH M., BEKKOUR A., LAMHAMED 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* 37(2): 137-150.