

Croissance et développement des plants de deux provenances de chêne-liège produits en pépinière dans des conteneurs de différentes profondeurs

par Abdenbi ZINE EL ABIDINE, Mohamed BOUDERRAH,
Abdelmonim BEKKOUR, Mohammed S. LAMHAMEDI et Younes ABBAS

La régénération des suberaies marocaines est un enjeu majeur dans un pays où les conséquences du changement climatique se feront fortement ressentir. De nombreuses études ont été menées sur ce sujet. Dans cet article, les auteurs s'attachent tout particulièrement à étudier l'influence de la profondeur des conteneurs sur la croissance des plants, afin d'optimiser la réussite des plantations.

Introduction

Le chêne-liège (*Quercus suber* L.) est une essence endémique du domaine méditerranéo-atlantique du bassin méditerranéen. Au Maroc, il s'étend sur une superficie de près de 350 000 ha, répartie entre la subéraie de plaine sur la façade atlantique (51 %) formée principalement par la forêt de la Maâmora à l'est de Rabat, et la subéraie de montagne (49 %) qui regroupe celles du Plateau central et du Rif centro-occidental (SAUVAGE, 1961 ; BENABID, 2000). Les suberaies marocaines forment près de 15 % de la subéraie mondiale. Elles jouent de nombreuses fonctions : écologique, sociale, économique et environnementale. Cependant, elles subissent, à l'instar des autres formations forestières, différents impacts humains qui affectent négativement leur dynamisme, leur production et leur régénération naturelle (BENABID, 2000). La dégradation des suberaies marocaines est très avancée, à ce titre la forêt de la Maâmora, la plus grande subéraie du monde, a perdu plus de 50 % de sa superficie en moins d'un siècle pour passer de 133 000 ha en 1955 à 60 000 ha vers 2000 (AAFI, 2007). L'effet des impacts humains dépasse, dans la plupart des cas, le potentiel de résilience des écosystèmes du chêne-liège. Ces impacts négatifs sont amplifiés, au Maroc, par des conditions climatiques parfois extrêmes, caractérisées par des sécheresses récurrentes et longues, des hautes températures et qui sont accompagnées souvent par des attaques parasitaires fréquentes et variées (ZINE EL ABIDINE, 2003 ; GHAILOULE *et al.*,

2007). Ces stress seront accentués dans le contexte du changement global du climat qui prévoit la réduction des précipitations, l'augmentation des températures, l'amplification des attaques parasitaires et des phénomènes climatiques naturels catastrophiques (BENZIANE *et al.*, 2010 ; CHOAT *et al.*, 2012).

Conscient de l'intérêt des subéraies marocaines, le Département chargé des forêts a déployé depuis longtemps des efforts louables pour sauvegarder les écosystèmes du chêne-liège, entre autres, par l'élaboration des aménagements et par la plantation de chêne-liège produits en pépinière ou selon les techniques de régénération assistée par semis direct des glands (EL HACHEMI, 2010). Les travaux de reboisement réalisés ont été d'abord précédés par des essais préliminaires, initiés par la recherche forestière avec pour objectifs de comprendre d'abord les processus et les facteurs impliqués dans la régénération naturelle de cette essence dans la forêt de la Maâmora (MARION, 1955 ; METRO et SAUVAGE, 1957 ; LEPOUTRE, 1965) et de mettre en œuvre des techniques appropriées pour le reboisement et la régénération assistée (EL HACHEMI, 2010). La plupart de ces travaux ont principalement mis l'accent sur la forêt de la Maâmora (EL HACHEMI, 2010) et celle de Bab Azhar, situées respectivement sur la côte atlantique de l'arrière-pays de Rabat-Salé, et sur les flancs nord-ouest de Jbel Tazekka situé au sud-ouest de la ville de Taza (JABRAN, 2003). Ces deux subéraies sont considérées comme les plus importantes du Maroc (SAUVAGE, 1961).

Malgré ces efforts, le constat sur le terrain est très mitigé et reflète une situation préoccupante à cause de la rareté de la régénération naturelle et des faibles taux de réussite des reboisements, qui sont généralement inférieurs à 70% (GHAIOULE *et al.*, 2007 ; EL HACHEMI, 2010). Cette situation laisse présager que la cause des échecs de plantation est due principalement à la sécheresse estivale. Pour pallier cette problématique, des arrosages d'appoint ont été adoptés en été afin d'améliorer le taux de réussite des plantations. Mais ceci n'a fait qu'alourdir encore les coûts des reboisements qui ne cessent d'augmenter.

Les faibles taux de réussite des reboisements dans les subéraies marocaines pourraient être dus aux multiples interactions entre les insuffisances de la qualité morpho-physiologique des plants (AUSSENAC *et al.*, 1988 ; GUEHL *et al.*, 1989 ; LAMHAMED *et al.*, 2000 ; BOUNAKHLA, 2015) et les stress bio-

tiques et abiotiques qui affectent négativement la survie et la croissance des plants lors de la phase d'installation (ZINE EL ABIDINE, 2003 ; GHAIOULE *et al.*, 2007). L'amélioration du taux de survie en site de reboisement passe par l'utilisation de plants forestiers de qualité morpho-physiologique supérieure, pourvus notamment d'un système racinaire approprié qui leur permet d'atteindre rapidement les horizons humides du sol, ce qui leur permet de surmonter le choc de transplantation et de s'adapter rapidement aux conditions du site de plantation (CEMAGREF, 1987 ; AUSSENAC *et al.*, 1988 ; LAMHAMED *et al.*, 2000 ; GROSSNICKLE, 2005 ; CHIRINO *et al.*, 2008).

La production de plants de qualité, au Maroc, nécessite l'amélioration de toutes les pratiques culturales en pépinière, entre autres, le choix d'un substrat de culture et d'un conteneur d'élevage approprié (CEMAGREF, 1987 ; AUSSENAC *et al.*, 1988 ; GUEHL *et al.*, 1989 ; MARGOLIS et BRAND, 1990 ; LAMHAMED *et al.*, 2000). En effet, la forme, les dimensions et les caractéristiques du conteneur d'élevage ont une influence importante sur les variables morpho-physiologiques des plants, notamment la croissance et l'architecture du système racinaire, et leur survie après plantation (SOUTH *et al.*, 2005 ; TSAKALDIMI *et al.*, 2005 ; DOMINGUEZ-LERENA *et al.*, 2006 ; CHIRINO *et al.*, 2008 ; DALLAHI, 2010 ; BAINBRIDGE, 2012). En effet, au moment et après la plantation des plants, les facteurs abiotiques peuvent être souvent critiques sous le climat marocain (ZINE EL ABIDINE, 2003). Par conséquent, la culture des plants forestiers en pépinière doit leur permettre de développer un système racinaire puissant capable de résister aux différentes contraintes du site de plantation, dont notamment le déficit hydrique édaphique (CHIRINO *et al.*, 2008 ; BAINBRIDGE, 2012 ; MONTAGNOLI *et al.*, 2012). Cette contrainte majeure figure parmi les stress environnementaux sévères qui menacent la survie des plants forestiers nouvellement mis en terre, ainsi que les peuplements naturels, en particulier dans les zones à climat marqué par une aridité accentuée tel que celui de la région méditerranéenne maghrébine (CEMAGREF, 1987 ; ZINE EL ABIDINE, 2003 ; ZINE EL ABIDINE *et al.*, 2013).

Au Maroc, les travaux de recherche effectués sur les reboisements en chêne-liège ont mis l'accent sur l'effet du type de conteneur (sachet, conteneur à paroi rigide) et du substrat de croissance en pépinière (terreau

forestier, compost végétal, etc.) (NAHIDI, 2007) et à la comparaison entre la performance des plants des reboisements avec ceux issus de la régénération assistée (JABRANE, 2003 ; EL HACHEMI, 2010). Cependant, l'effet de la profondeur du conteneur d'élevage sur la croissance des plants de chêne-liège, combiné avec l'origine génétique des semences, n'a pas été étudié. Ces chênes-lièges élevés dans des conteneurs plus profonds que ceux utilisés actuellement (16 cm de profondeur et 500 cm³ de volume), devraient acquérir un système racinaire plus proche de celui développé après germination des glands en forêt, caractérisé par une racine pivotante importante (MARION, 1955 ; LÉPOUTRE, 1965). Planter des plants avec un système racinaire bien développé leur permet, après plantation, d'atteindre plus rapidement les horizons profonds du sol où ils peuvent accéder à l'eau, ce qui favorisera leur survie et améliorera le taux de succès des plantations, même en conditions de sécheresse (CEMAGREF, 1987 ; GROSSNICKLE, 2005 ; CHIRINO *et al.*, 2008 ; BAINBRIDGE, 2012 ; LAMB *et al.*, 2012).

Les objectifs de cette étude consistent à (i) comparer les effets de différentes profondeurs de conteneurs sur les variables de croissance des plants issus de deux provenances du chêne-liège (Maâmora et Chaouen) ; (ii) déterminer la profondeur adéquate du conteneur qui permet d'améliorer la qualité du système racinaire des plants du chêne-liège et (iii) proposer des standards de culture relatifs à la production de plants de chêne-liège qui pourraient optimiser les taux de réussite après plantation.

Matériel et méthodes

Choix des conteneurs de culture des plants de chêne-liège

Quatre types de conteneurs (Cf. Tab. I) ont été utilisés dans le cadre de cette étude. Le conteneur utilisé actuellement (témoin) pour la production des plants de chêne-liège au Maroc, comparé à des conteneurs en sachets de polyéthylène noir de profondeurs variables. Les différentes profondeurs ont été choisies pour favoriser la croissance racinaire.

Conteneur	Profondeur (cm)	Diamètre (cm)	Circonférence (cm)	Volume (cm ³)
Témoin (T)	16	7 cm de côté	28	500
Court (C)	30			2355
Moyen (M)	60	10	31,42	4710
Long (L)	90			7065

Matériel végétal

Les glands de chêne-liège de deux provenances différentes ont été échantillonnés dans la subéraie de Chaouen au Nord et celle de la Maâmora (canton A) (Cf. Tab. II et III). Les glands ont été fournis respectivement par la Station régionale des semences forestières de Chaouen et par le Centre de conser-

Tab. I :

Dimensions et volumes des conteneurs utilisés pour l'élevage en pépinière des plants de chêne-liège.

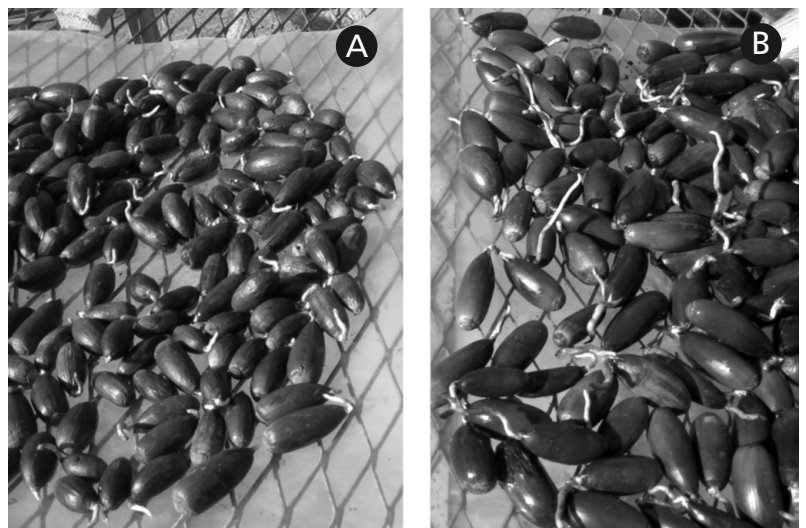


Photo 1 (ci-dessus) :

Glands pré-germés de chêne-liège issus de la subéraie de Chaouen (A) et de la subéraie de la Maâmora (B). Ces derniers se distinguent par leur gros calibre et par leur goût doux.

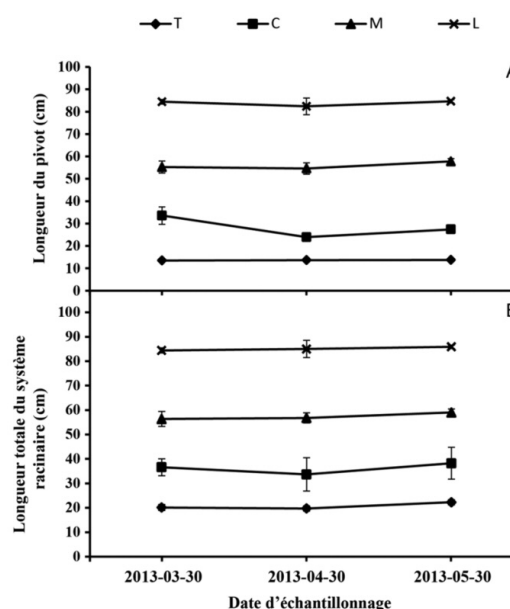


Fig. 1 :

Évolution mensuelle de la longueur moyenne du pivot (A) et la longueur totale moyenne du système racinaire (B) de jeunes semis de chêne-liège, toute provenance confondue, selon la profondeur du conteneur (T : témoin, C : court, M : moyen, L : long) (n = 12 ± écart-type).

vation et de développement des ressources forestières de Sidi Yahia proche de la ville de Kénitra. Les glands ont été récoltés sur de nombreux arbres bien distribués dans les peuplements de chacune des deux subéraies. Les glands, récoltés en novembre, ont été mis dans des sachets en polyéthylène transparents soigneusement fermés et conservés dans la chambre réfrigérée à 5°C jusqu'à l'ensemencement. Les glands issus de la subéraie de la Maâmora sont généralement plus gros que ceux de la subéraie de Chaouen ; le nombre de glands par kg dépasse le double de ceux issus de la subéraie de Chaouen (Cf. Tab. II et Photo 1).

Conditions de culture

Seuls les glands de bonne qualité (non endommagés, ne présentant pas de signes d'attaque, d'une coloration brune foncée et triés suite à un test de flottaison), pré-germés au préalable, ont été semés le 3 janvier 2013, d'une manière inclinée, au centre des sachets d'élevage, à environ 2 cm de profondeur dans le substrat de culture. Ce dernier est constitué de 25% de terreau de charbonnière de la subéraie de la Maâmora et de 75% de la tourbe commerciale (Floratrof®, Floragard Product). Cette proportion est similaire à celle utilisée en pépinière pour la production des plants forestiers au Maroc (BOUNAKHLA, 2015). La culture a été réalisée sous une ombrière verdâtre laissant passer environ 70% d'ensoleillement direct (Cf. Photo 2). Après l'ensemencement des glands, les conteneurs ont été régulièrement désherbés et arrosés, à raison de trois fois par semaine ou quotidiennement selon la température et les variations des teneurs en eau

du substrat. Après trois mois de culture, à compter du 26 mars 2013, les jeunes plants ont été fertilisés à trois reprises espacées de 15 jours pour stimuler leur croissance. Le fertilisant utilisé est de type Algoflash, contenant les éléments nutritifs majeurs N (4%), P₂O₅ (6%) et K₂O (7%), et un complément d'oligo-éléments. A chaque fertilisation, le plant a reçu, après un bon arrosage et selon les indications du produit, une quantité de fertilisant proportionnelle au volume du conteneur. Les unités expérimentales ont été disposées selon un dispositif expérimental split-plot à deux facteurs de classification, profondeur du conteneur et provenance de chêne-liège. Le facteur « conteneur » a été varié au sein du facteur « provenance » pour lui donner plus de précision lors des analyses statistiques. Les huit traitements ont été répétés trois fois, ce qui a conduit à un total de 24 unités expérimentales. Chaque unité renferme 15 glands, soit un total de 360 glands.

Variables mesurées

Après l'ensemencement des glands pré-germés, leur reprise a été suivie tous les trois jours. A chaque observation, le nombre total des jeunes plants a été noté en vue d'évaluer la cinétique de reprise. Lorsque les jeunes plants de chêne-liège ont tous atteint un développement aérien jugé satisfaisant, les mesures de quelques paramètres morphologiques, relatifs à la croissance de la partie aérienne, ont été effectuées chaque semaine à compter du 4 mars 2013 jusqu'à la fin de l'expérimentation (3 juin 2013) sur quatre plants marqués au hasard par unité expérimentale et conservés jusqu'à la fin de l'expérimentation. Ces mesures englobent la hauteur totale de la tige principale (cm), le diamètre au collet (mm), le nombre de ramifications par plant, le nombre total de feuilles par plant et le quotient de vigueur (rapport de la hauteur de la tige au diamètre au collet) (THOMPSON, 1985).

Après chaque mois de croissance, deux autres plants ont été échantillonnés les 30 mars, 30 avril et 30 mai 2013 par unité expérimentale pour mesurer la longueur du pivot et la longueur totale du système racinaire (cm), l'ordre de ramification racinaire estimé par le niveau d'insertion des racines secondaires sur le pivot (racine principale) dont l'ordre est fixé à un (1) et les masses sèches (g) des racines, des tiges et des feuilles. Les masses sèches ont été déterminées à l'aide

Tab. II (ci-dessous) :

Caractéristiques des glands des deux provenances de chêne-liège. Chaque valeur est la moyenne de 4 répétitions suivie de son écart-type. Chaque répétition est constituée d'un kg de glands.

Tab. III (en bas) :

Caractéristiques biogéographiques des deux stations de récolte des deux provenances des glands de chêne-liège.

Origine	Nombre moyen de glands par kg	Longueur (cm)	Diamètre (cm)
Subéraie de la Maâmora (canton A)	72 ± 1,83	4,89 ± 0,57	1,93 ± 0,21
Subéraie de Chaouen	184 ± 3,16	3,34 ± 0,29	1,64 ± 0,67

Origine des glands	Région de provenance	Altitude (m)	Bioclimat	Pluie (mm/an)	Substrat
Forêt de la Maâmora (Canton A)	Maâmora (Ouest de Rabat)	115	Sub-humide à variante tempérée	508	Sable
Forêt de Chaouen	Rif Occidental	300	Humide	1000	Grès

d'une balance de précision à 10^{-4} , après étuvage pendant 48 h à 65°C . Ces paramètres ont servi à déterminer le rapport biomasse aérienne (BSA) à la biomasse racinaire (BSR) (BSA/BSR) et la longueur spécifique du système racinaire (LSR) (rapport longueur des racines sur leur poids sec) qui informe sur l'allocation de la biomasse selon la longueur des racines. A biomasse égale, un LSR supérieur indique que les racines sont plus développées en longueur.

Analyses statistiques

Les données ont été analysées à l'aide des approches graphiques et selon les procédures de l'analyse de la variance à deux critères de classification (conteneur et provenance). Le test d'homogénéité des variances a été vérifié par le test de Bartlett, au moyen du logiciel MINITAB15 ; en cas de rejet de l'hypothèse d'égalité de variances, une transformation logarithmique des valeurs des paramètres considérés a été effectuée pour normaliser l'homogénéité de la variance. Les moyennes ont été comparées selon la méthode de Newman et Keuls (S.N.K) à l'aide du logiciel SPSS 20. Les différences dues aux effets contrôlés ont été considérées significatives à partir d'un seuil de probabilité de 0,05. Les taux d'amélioration d'un paramètre donné en %, dus à l'effet du conteneur, par rapport au témoin, ont été déterminés selon la formule suivante :

$$\text{Effet dû au conteneur} = \frac{[(\text{valeur du témoin} - \text{valeur du traitement}) / \text{valeur du témoin}] \times 100}{}$$

Résultats

Pour la plupart des paramètres d'évaluation de la croissance des plants de chêne-liège, quelle que soit la profondeur du conteneur, la provenance de la Maâmora s'est montrée significativement plus performante que la provenance de Chaouen. En outre, pour la quasi-totalité des paramètres d'évaluation, l'interaction « Profondeur du conteneur x Provenance » n'a pas été significative montrant que l'effet du conteneur sur le développement des plants ne varie pas selon la provenance, mais son effet a été similaire pour les deux provenances. Donc, la croissance des plants de chêne-liège des deux provenances a été affectée significativement de la même manière par les différents conte-



Photo 2 :

Vue du dispositif expérimental utilisé pour l'évaluation de l'effet de la profondeur du conteneur d'élevage sur la croissance et le développement des plants de chêne-liège. Le conteneur témoin (T) est en paroi rigide (P35) alors que les autres conteneurs court (C), moyen (M) et long (L) plus profonds, sont en sachet de polyéthylène noir.

neurs. Pour cette raison, l'analyse et la présentation des résultats ont été axées sur l'évaluation de l'effet de la profondeur du conteneur, toutes provenances confondues.

Reprise des glands pré-germés

Les glands pré-germés des deux provenances ont démarré l'élongation des tiges après environ un mois de mise en terre. Au-delà de cette date, les taux de reprise moyens ont augmenté progressivement pour atteindre leur maximum après 3 mois de culture, soit 73,3 à 88,9% et 88,9 à 97,8% respectivement pour la provenance Maâmora et la provenance Chaouen. La cinétique de reprise des plants a été similaire entre les deux provenances. Cependant, les glands de la provenance Maâmora, semés dans le conteneur témoin (T) ont émergé plus rapidement que ceux des autres types de conteneurs. Mais, l'analyse des taux de reprise à la fin des mesures n'a révélé aucun effet significatif ni de la profondeur du conteneur ni de la provenance.

Croissance et développement des plants de chêne-liège

À l'exception du nombre de ramifications des tiges et des racines, toutes les autres variables de croissance des plants de chêne-liège, toute provenance confondue, ont été significativement affectées par le type de conteneur (Cf. Tab. IV). Les plants cultivés dans le conteneur témoin (500 cm^3) ont montré des variables de croissance nettement inférieures par rapport à celles des autres

conteneurs. Les semis du conteneur long sont caractérisés par les valeurs significativement les plus élevées en diamètre au collet, en rapport « longueur des racines/hauteur de la tige », en longueur spécifique des racines (LSR) et en biomasses aérienne, racinaire, du pivot et des racines latérales. Les semis des conteneurs court et moyen ont généralement occupé une position moyenne entre ceux des conteneurs témoin et long.

Croissance en hauteur

Après reprise des semis, les hauteurs moyennes des tiges ont augmenté progressivement au cours du temps. Cette augmentation a été affectée d'une manière très hautement significative par la profondeur du conteneur. A la dernière date de mesure, les hauteurs obtenues forment trois groupes homogènes : le groupe contenant les plants du conteneur témoin (T), le groupe renfermant les plants du conteneur long (L) et moyen (M) et le dernier groupe regroupant les plants du conteneur moyen (M) et court (C) (Cf. Tab. IV). La croissance de la partie aérienne des semis élevés dans les conteneurs testés est significativement supérieure à celle des semis cultivés dans le conteneur

témoin (500 cm³). La hauteur totale des semis a augmenté significativement de 21,6 ; 31,03 ; 35,21 et 38,77 cm respectivement, pour les plants élevés dans les conteneurs témoins, courts, moyens et longs. Mais, celle des plants cultivés dans le conteneur témoin est la plus faible et se détache visiblement de la hauteur des plants cultivés dans les autres conteneurs (Cf. Tab. IV). L'augmentation moyenne de la hauteur de la tige par rapport aux plants produits dans le conteneur témoin a été de 43,66%, 63,01% et 79,49% respectivement pour les plants produits dans les conteneurs courts, moyens et longs.

Croissance en diamètre au collet

L'évolution au cours du temps de la croissance des diamètres moyens des plants au collet, en fonction de la profondeur des conteneurs, a été variable durant la période de croissance des plants. Pendant les 6 premières semaines de mesures, l'effet de la profondeur du conteneur a été globalement très hautement significatif ($p = 0,017$), mais le diamètre au collet des plants du conteneur témoin (T) a été supérieur. Cependant, après 1,5 mois de croissance, l'effet de la profondeur du conteneur sur le diamètre au collet des plants a été non significatif ($p = 0,296$). Mais au-delà de deux mois de croissance, l'effet de la profondeur du conteneur sur le diamètre au collet des plants redevient respectivement significatif ($p = 0,048$), hautement significatif ($p = 0,001$) et très hautement significatif ($p = 0$) en fonction des dates de mesures. A la fin de l'expérimentation, le diamètre moyen au collet est cette fois-ci significativement supérieur, d'autant plus que la profondeur du conteneur est grande. Les diamètres au collet des plants de chêne-liège obtenus à la fin de l'expérimentation ont significativement présenté des valeurs croissantes selon la profondeur des conteneurs (Cf. Tab. IV). Les plants élevés dans le conteneur long et moyen présentent le diamètre au collet significativement le plus élevé, respectivement 4,12 mm et 4,36 mm, contre seulement 3,65 mm et 3,93 mm pour les semis des conteneurs (T), et court (C). Le conteneur le plus profond (L) a amélioré de 19,45% le développement radial de la tige en comparaison avec le conteneur témoin (T). Le diamètre au collet des plants produits dans le conteneur moyen (M) a occupé une situation intermédiaire (Cf. Tab. IV).

Tab. IV :

Effet de la profondeur du conteneur sur les paramètres morphologiques des plants du chêne-liège, toute provenance confondue, après quatre mois de culture en pépinière. Chaque valeur est la moyenne de 12 observations.

Paramètres de croissance :				
Profondeur (cm)	Témoin (16 cm)	Court (30 cm)	Moyen (60 cm)	Long (90 cm)
Volume (cm ³) du conteneur	500	2355	4710	7065
Hauteur de la tige (cm) (HT)	21,6 a	38,77 c	35,21 bc	31,03 b
Diamètre au collet (mm) (DC)	3,65 a	3,93 ab	4,12 bc	4,36 c
Nombre de feuilles par tige	35,38 a	48,96 b	51,17 b	55,25b
Nombre de ramification par tige	3,17 a	5,33 a	6,00 a	6,54 a
Longueur du pivot (cm)	14,25 a	26,67 b	53,58 c	85,5 d
Longueur totale des racines (cm) (LR)	25,17 a	35,5 b	53,75 c	86,67d
LR/HT	1,25 ab	1,17 a	1,74 b	2,82 c
Biomasse des feuilles	1,76 a	2,86 b	3,35 b	3,40 b
Biomasse des tiges (g)	0,86 a	1,62 b	1,96 bc	2,27 c
Biomasse de la partie aérienne (g)	2,62 a	4,49 b	5,26 b	5,67 b
Biomasse des racines (g) (BR)	3,56 a	4,43 a	5,40 b	6,59 c
Biomasse du pivot (g)	2,88 a	3,27 ab	3,93 b	4,86 c
Biomasse des racines latérales (g)	0,69 a	1,16 b	1,47 bc	1,73 c
Rapport « Tige/racine »	0,76 a	1,00 b	0,95 b	0,86 ab
Longueur spécifique des racines (LR/BR)	0,13 ab	0,13 ab	0,16 bc	0,21 c
Ordre de ramification du système racinaire	2,25 a	2,25 a	2,08 a	2,17 a
Quotient de vigueur (HT/DC)	5,17 a	9,56 b	9,74 b	8,48 b

– LR/HT : Rapport « Longueur du système racinaire/hauteur de la tige »

– Les lettres minuscules différentes indiquent que la différence est significative à un seuil de probabilité <0,05 (n = 24).

Développement des feuilles et des ramifications par tige

La tendance de la cinétique de croissance, toute provenance confondue, exprimée en nombre moyen de feuilles par tige, a été similaire à celle observée pour le développement en hauteur. A la fin de l'expérimentation, le développement des feuilles a été affecté significativement par la profondeur du conteneur (Cf. Tab. IV). On distingue deux groupes homogènes : un groupe constitué par les plants cultivés dans le conteneur témoin (T) (500 cm³) dont les plants ont 35,38 feuilles et le groupe constitué par les plants des 3 autres conteneurs (court, moyen et long) qui regroupe les plants ayant un nombre moyen de feuilles qui varie entre 48,96 et 55,25 feuilles. La différence entre le nombre moyen des feuilles entre les semis du témoin et ceux élevés dans le conteneur long est de 19,87 feuilles au profit des plants élevés dans le conteneur le plus profond, soit une augmentation de 56,16%.

Le nombre moyen de ramifications par tige s'est amélioré au fil du temps pour atteindre des valeurs moyennes similaires chez tous les plants élevés dans les différents types de conteneurs testés, soit un nombre moyen de ramifications par tige allant de 3,17 à 6,54 à la dernière date de mesure. Mais, les différences observées à la fin de l'expérimentation entre les semis élevés dans les différents conteneurs n'ont pas été significatives (Cf. Tab. IV).

Biomasses sèches de la partie aérienne

Les biomasses sèches des feuilles et des tiges des plants ont été significativement affectées par la profondeur du conteneur ($p < 0,01$). La biomasse des plants du conteneur témoin est significativement inférieure à celle des plants des autres conteneurs qui ont eu le même effet. L'amélioration de la biomasse aérienne des plants des conteneurs plus profonds a été supérieure à celle des plants du témoin par plus de 100% (Cf. Tab. IV).

Développement de la partie racinaire

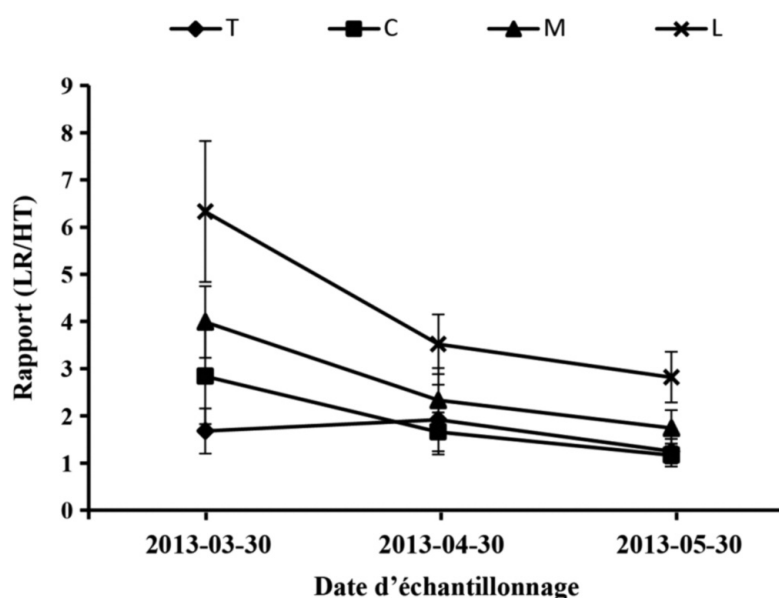
La croissance du système racinaire des semis du chêne-liège, toute provenance confondue, a été significativement améliorée

par l'augmentation de la profondeur du conteneur d'élevage (Cf. Tab. IV, Fig. 1 et 2, Photos 3, 4 et 5). La longueur du pivot après trois mois de croissance a été de l'ordre de 13,75 cm, 27,38 cm, 57,79 cm et 84,46 cm respectivement pour les semis élevés dans les conteneurs témoin (T), court (C), moyen (M) et long (L). Cette amélioration a été observée depuis le premier mois d'évaluation. En effet, après un mois de croissance, le pivot a atteint une longueur de 33,58 cm, 55,25 cm, 84,42 cm respectivement dans les conteneurs court, moyen et long contre seulement 13,50 cm au niveau du conteneur témoin. Cette amélioration du développement du système racinaire par l'augmentation de la profondeur du conteneur se traduit aussi par l'augmentation de la biomasse sèche racinaire (Cf. Tab. IV). A la fin de l'expérimentation, les biomasses racinaires ont été de 3,56 g ; 4,43 g ; 5,40 g et 6,59 g respectivement pour les semis des conteneurs témoin (T), court (C), moyen (M) et long (L). Les taux d'amélioration de la biomasse des racines par rapport aux plants témoins sont respectivement de l'ordre de 24,44% ; 51,69% et 85,11% (Cf. Tab. IV).

Rapport « longueur totale du système racinaire à la hauteur de la tige »

Le rapport longueur totale du système racinaire à la hauteur de la partie aérienne des semis varie significativement en fonction

Fig. 2 : Évolution mensuelle du rapport longueur totale du système racinaire à la hauteur de la tige de jeunes semis du chêne liège, toute provenance confondue, selon le conteneur d'élevage (T : témoin, C : court, M : moyen, L : long) ($n = 12 \pm \text{écart-type}$).



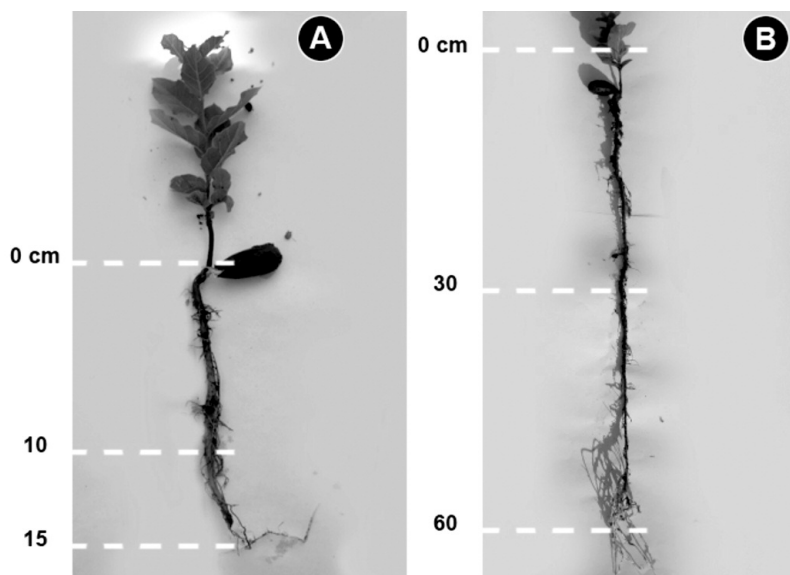
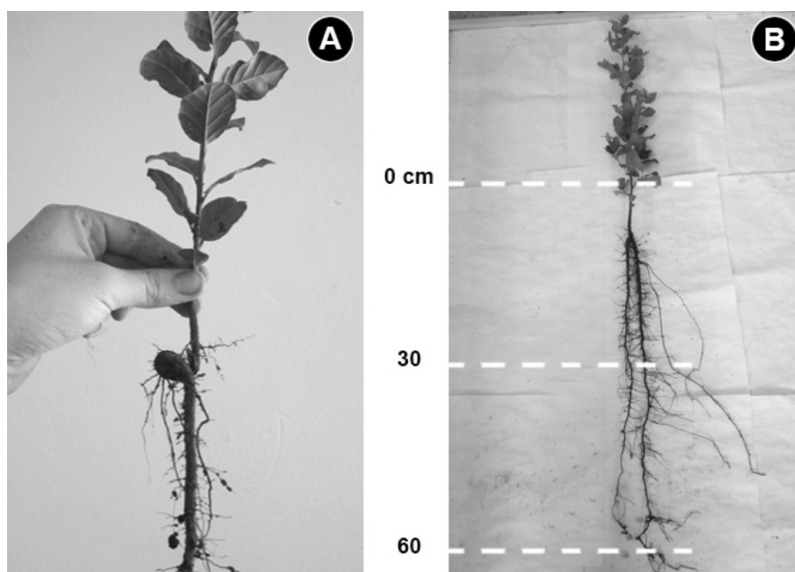


Photo 3 (ci-dessus) : Plants de chêne-liège âgé d'un mois produits dans le conteneur témoin de 16 cm (A) et long de 90 cm (B) de profondeur. Les racines des plants produits dans le conteneur plus profond se développent plus rapidement avec un pivot plus long et présentent des racines blanches qui jouent un rôle important dans l'absorption de l'eau et des éléments minéraux. Par contre, les racines du premier plant (témoin) sont peu développées et le pivot est plus lignifié et court, ce qui réduit le potentiel d'absorption de ce type de racines.

Photo 4 (ci-dessous) : Plants de chêne-liège de deux mois produits dans le conteneur de 16 cm témoin (A) et celui de 90 cm (B) de profondeur. Les racines des plants produits dans le conteneur plus profond sont plus développées et le pivot plus long, alors que les racines du premier plant (témoin) sont peu développées et le pivot est plus lignifié et court. En l'absence d'une profondeur suffisante les racines deviennent plus épaisses et lignifiées, ce qui ne leur permet pas d'explorer un grand espace vital pour absorber davantage plus d'eau et d'éléments minéraux.



de la profondeur du conteneur d'élevage utilisé (Cf. Tab. III, Fig. 1 et 2, Photos, 3, 4 et 5). Le rapport le plus faible a été enregistré chez les semis du conteneur témoin et court par rapport aux semis des conteneurs moyen et long où la croissance des racines par rapport aux tiges a doublé.

Evolution du rapport « biomasse sèche de la partie aérienne à la biomasse sèche racinaire »

Le rapport « partie aérienne/partie racinaire » en terme de biomasse sèche est significativement supérieur chez les semis du conteneur témoin par rapport aux semis des autres conteneurs. Mais cette différence paraît s'estomper avec le temps. A la dernière date de mesure, après quatre mois de croissance, l'écart entre les différents conteneurs devient très peu significatif. Les rapports varient entre 0,76 et 1,00 (T) (Cf. Tab. IV).

Longueur spécifique du système racinaire (LSR)

La longueur spécifique du système racinaire (rapport longueur des racines sur leur masse sèche) a varié significativement en fonction de la profondeur du conteneur (Cf. Tab. IV, Photos 3, 4 et 5). Mais ce rapport diminue à cause de l'augmentation de la biomasse des racines avec l'âge, pour tous les plants des quatre conteneurs. A chaque date d'évaluation, les semis des conteneurs les plus profonds, long (L) et moyen (M) ont présenté une LSR plus élevée que celle des semis du conteneur témoin (T) et court (C). A la dernière date de mesure, on a enregistré des moyennes allant de 0,13 à 0,21 cm/g en faveur des semis du conteneur moyen et long. Les plants ayant une LSR plus faible ont un système racinaire plus lignifié ayant un diamètre radial élevé, alors que ceux qui ont un rapport plus élevé ont un système racinaire plus long et moins lignifié. L'allocation de la biomasse est affectée beaucoup plus pour la croissance en longueur que pour la croissance radiale.

Quotient de vigueur (QV)

Le QV « rapport de la hauteur de la tige au diamètre au collet » a été affecté significativement par la profondeur du conteneur (Cf.

Tab. IV). A la dernière date de mesure, les valeurs enregistrées varient de 5,17 à 9,75, mais on a noté l'existence d'un seul groupe homogène qui regroupe les plants du conteneur court, moyen et long contre ceux du témoin qui ont présenté le quotient de vigueur le plus faible, soit 5,17. Un QV plus faible indique que les plants sont plus robustes.

Discussion

Effet de la profondeur du conteneur

Les différentes variables de croissance des plants de chêne-liège cultivés dans différents types de conteneurs ont été significativement affectées par la profondeur du conteneur et par l'origine génétique des glands (Maâmora et Chaouen). En revanche, l'effet de l'interaction entre ces deux facteurs (conteneur et provenance) a été non significatif pour la quasi-totalité des variables de croissance. L'utilisation de conteneurs dotés d'une profondeur nettement supérieure à celle du conteneur standard P35 (500 cm³), utilisé pour la production de plants de chêne-liège au Maroc, a permis d'améliorer significativement la plupart des paramètres morphologiques des plants, à savoir la longueur du système racinaire, le pivot (racine principale), la biomasse des racines latérales, la biomasse du système racinaire, la longueur spécifique des racines, le diamètre au collet, la biomasse des feuilles et leur nombre, le quotient de vigueur et le rapport « longueur des racines/hauteur des tiges ». Cette amélioration a été beaucoup plus visible pour les semis des conteneurs les plus profonds (60 et 90 cm). Ces résultats sont globalement en accord avec ceux qui ont mis en évidence l'effet bénéfique de l'augmentation de la profondeur du conteneur sur la qualité des plants et de leur performance en site de reboisement, notamment : cas de *Picea glauca*, *Picea mariana* et *Pinus banksiana* (SUTHERLAND, 1988), *Pinus pinea* (DOMINGUEZ-LERENA *et al.* (2006), *Quercus ilex* et *Quercus coccifera* (TSAKALDIMI *et al.*, 2005), *Quercus suber* (CHIRINO *et al.*, 2008), *Pinus palustris* (SWORD SAYER *et al.*, 2009), *Argania spinosa* (DALLAHI, 2010), *Pinus ponderosa* (PINTO *et al.*, 2011) et *Prosopis glandulosa* (BAINBRIDGE, 2012).

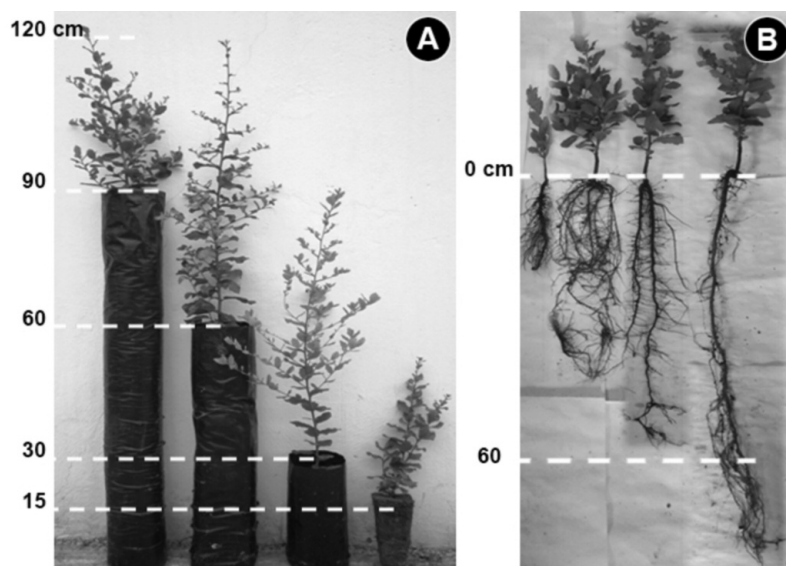


Photo 5 : Plants de chêne-liège de 4 mois cultivés dans les conteneurs de différentes profondeurs (A) long (90 cm), moyen (60 cm), court (30 cm) et témoin (16 cm) ; et comparaison entre leurs systèmes racinaires (B). La longueur des racines et leur développement sont améliorés par la profondeur du conteneur d'élevage. Des plants avec des racines plus développées résisteraient mieux aux conditions de sécheresse. Pendant la phase de germination et les premiers stades de croissance, le chêne-liège est une espèce qui priorise l'allocation du carbone vers la croissance des racines.

L'utilisation de conteneurs profonds a nettement amélioré la croissance et le développement de la racine principale des plants (le pivot), mais peu le degré de ramifications latérales. En revanche, pour les conteneurs peu profonds, les plants de chêne-liège ont montré un développement faible du pivot à cause du cernage aérien, mais des racines latérales de premier ordre denses. Ce type de développement pourrait être dû à l'augmentation de l'allocation du carbone vers ces racines latérales en l'absence du développement de la racine pivotante (KOZLOWSKI, 1992). En revanche, dans le cas des conteneurs profonds, l'allocation du carbone est davantage orientée vers la racine pivotante, ce qui est conforme au développement biologique des racines du chêne-liège dans des conditions naturelles (METRO et SAUVAGE, 1957). Différents travaux ont montré que la profondeur du conteneur modifie l'élongation du pivot et le développement des racines latérales, et par conséquent l'architecture du système racinaire (LAMOND *et al.*, 1983 ; HALTER *et al.*, 1993 ; TSAKALDIMI *et al.*, 2005 ; BAINBRIDGE, 2012). SUTHERLAND (1988) a révélé que l'augmentation du volume du

conteneur d'élevage des plants forestiers nord-américains par trois fois, a amélioré significativement la croissance des plants en pépinière de 72 à 360% et de 34 à 84% sur le site de plantation. Dans notre cas, les plants de chêne-liège produits dans des conteneurs plus profonds peuvent permettre à la racine pivotante, après la mise en terre en site de reboisement, de traverser les différents horizons du sol en se rapprochant du modèle de croissance naturel de cette essence pour atteindre rapidement les horizons profonds les plus humides (METRO et SAUVAGE, 1957 ; LÉPOUTRE, 1965). Cette adaptation des espèces des régions arides leur offre la possibilité de s'approvisionner en eau et en éléments nutritifs et contribue à leur conférer une tolérance accrue à la sécheresse (CEMAGREF, 1987 ; CANADELL *et al.*, 1996 ; GROSSNICKLE, 2005 ; FINER *et al.*, 2011 ; BAINBRIDGE, 2012) dont la fréquence et l'intensité vont s'amplifier avec le changement global du climat (CHOAT *et al.*, 2012 ; BENZIANE *et al.*, 2010). La colonisation des couches profondes du sol à l'aide des racines pivotantes a été observée aussi par CHIRINO *et al.* (2008) sur des semis de chêne-liège, en comparant des conteneurs de 30 cm de profondeur au conteneur témoin (18 cm de profondeur). Ces auteurs ont montré que l'utilisation de conteneurs de 30 cm de profondeur a significativement amélioré à la fois la capacité de croissance racinaire et la conductance hydraulique racinaire des semis du chêne-liège. Ceci s'est traduit par conséquent par l'amélioration du statut hydrique et de la conductance stomatique des plants du chêne-liège.

La partie supérieure de la racine pivotante (environ 10 à 15 cm), chez le chêne-liège, est considérée comme un « lignotuber » qui est une structure spécialisée avec des bourgeons dormants ayant une capacité à rejeter après perturbations au niveau de la partie aérienne ; le vrai système racinaire commence à partir de cette structure (lignotuber) (CHIRINO *et al.*, 2005). Dans la nature, après germination des glands du chêne-liège, la racine pivotante se développe beaucoup plus rapidement que la partie aérienne (MARION, 1955 ; METRO et SAUVAGE, 1957). Cette remarque a été aussi observée dans ce travail avec le conteneur long plus profond (90 cm). En effet, le pivot a atteint le fond du conteneur de 90 cm de profondeur pendant une période de croissance très courte (moins de 2 mois). Ce développement accéléré du pivot caractérise généralement le développe-

ment des semis des essences forestières des zones à disponibilités hydriques limitées comme celles des régions méditerranéennes (CEMAGREF, 1987 ; TSAKALDIMI *et al.*, 2005 ; PEMAN *et al.*, 2006 ; CHIRINO *et al.*, 2008). Sous ces conditions, le déficit hydrique édaphique représente la grande menace qui affecte négativement la survie et le développement des jeunes plants mis en terre dans le cadre des programmes de reboisement (LAMHAMEDI *et al.*, 2000) et même ceux régénérés naturellement (ZINE EL ABIDINE, 2003 ; ZINE EL ABIDINE *et al.* 2013).

Le bilan des reboisements de chêne-liège dans la forêt de la Mâamora établi en 2010 (EL HACHEMI, 2010) a montré que le taux de survie des plants dans les sites de reboisement est généralement inférieur à 70%. Ce taux diminue davantage lors des années sèches (LAMHAMEDI *et al.*, 2000 ; ZINE EL ABIDINE, 2003), dans des conditions marginales comme celles de la subéraie de la Mâamora caractérisées par une épaisse couche de sable (LÉPOUTRE, 1965) et aussi à cause des attaques des vers blancs *Sphodroxia maroccana*, un redoutable coléoptère qui endommage les racines des plants du chêne-liège (GHAILOULE *et al.*, 2007). Les forestiers ont essayé de contourner cette difficulté par un arrosage estival, mais cette pratique est discutable du fait qu'elle alourdit la facture des travaux de reboisement déjà élevée et favoriserait le développement des vers blancs, notamment lorsque la végétation naturelle est fortement défrichée (GHAILOULE *et al.*, 2007). Nos observations ont révélé que les plants produits dans les conteneurs de 90 cm de profondeur et qui ont été abandonnés à la fin de l'expérimentation ont résisté à la sécheresse estivale (juillet et août) pendant deux mois sans arrosage, alors que ceux des autres conteneurs se sont desséchés beaucoup plus tôt et en premier, ceux du conteneur témoin (P35, 500 cm³).

Le recours à l'utilisation de conteneurs profonds va engendrer des coûts supplémentaires en matière de production de plants (conteneur, quantité du substrat, irrigation et fertilisants) et de mise en terre (transport adapté, préparation des potets profonds, nombre de plants mis en terre/heure, etc.). Ceci, bien sûr, nécessite des réajustements majeurs tout au long de la filière de production de plants et de mise en terre dans les sites de plantation. En effet, à titre d'exemple, des essais de plantation de plants de *Prosopis glandulosa* Torr. produits dans des conteneurs profonds de 90 cm ont donné d'ex-

cellents résultats dans des conditions arides aux Etats-Unis d'Amérique (BAINBRIDGE, 2012). La décision de s'orienter vers la production de nouveaux types de plants dépendra des objectifs escomptés du reboisement. L'orientation vers l'utilisation de conteneurs profonds (90 cm) nécessitera la préparation de potets un peu plus profonds par comparaison à ce qui est pratiqué dans le cadre des programmes de reboisements en Afrique du Nord (P35). Les potets profonds peuvent être préparés mécaniquement à l'aide d'une tarière branchée à un tracteur. Le relief de la forêt de la Maâmora est non accidenté et le sol est constitué de couches de sable et d'argile faciles à travailler avec la tarière mécanique. Ainsi, le recours aux conteneurs profonds contribuera à diminuer le taux de mortalité, améliorer le taux de survie et la croissance des plants, ainsi que l'atteinte des objectifs de l'augmentation de la production ligneuse en quantité et en qualité tout en luttant contre les changements climatiques.

Effet de la provenance

La croissance des plants de la provenance Maâmora a été relativement supérieure par rapport à celle de la provenance de Chaouen en ce qui a trait à la hauteur de la tige, au diamètre au collet, au nombre de feuilles et de ramifications par tige et aux biomasses sèches des parties aériennes, des tiges et des feuilles. En ce qui concerne la partie racinaire, seules la biomasse sèche racinaire et l'ordre de ramifications racinaires ont été significativement affectés par l'origine génétique des glands. En revanche, la longueur du pivot et la longueur totale du système racinaire ont été indifférents à la provenance. De même, les rapports de la partie racinaire à la partie aérienne n'ont pas été influencés par l'origine des glands. L'effet de la diversité génétique sur la qualité des plants forestiers a été largement documenté (LAMHAMEDI *et al.*, 1992 ; LAMHAMEDI, 2000 ; CARLES *et al.*, 2011). Les différences entre le comportement des deux provenances pourraient être dues en partie à l'effet de l'environnement où le dispositif a été installé à basse altitude. Ceci pourrait défavoriser la provenance de Chaouen issue d'une subéraie d'altitude. Le recours aux provenances dotées d'un potentiel génétique supérieur en matière de croissance et d'architecture des racines contribuerait certainement à l'amélioration du taux de survie et de leur croissance en site de reboisement.

Conclusion

Nos principaux résultats montrent que la croissance et le développement des plants du chêne-liège, toute provenance confondue, sont influencés significativement par la profondeur du conteneur. Le conteneur P35 de 16 cm de profondeur ayant 500 cm³ de volume (témoin), utilisé habituellement pour la production de plants dans les pépinières forestières marocaines, défavorise à la fois la croissance de la partie aérienne et surtout celle de la partie racinaire des plants du chêne-liège. En revanche, les conteneurs les plus profonds (60 et 90 cm de profondeur), où la racine pivotante s'allonge suivant le modèle naturel des chênes, ont permis d'obtenir une meilleure croissance de la partie aérienne. En outre, la croissance racinaire et la qualité du système racinaire se sont améliorées progressivement avec l'augmentation de la profondeur du conteneur.

La croissance des plants du chêne-liège est aussi influencée par l'origine génétique des glands. En effet, les valeurs des paramètres morphologiques des plants issus des glands de la subéraie de la Maâmora sont généralement supérieures par rapport à celles de la subéraie de Chaouen. Mais, l'usage de ressources génétiques, étrangères au site de la provenance, pour la réhabilitation des subérais est à proscrire pour éviter la pollution génétique des populations locales par l'utilisation de provenances génétiques non adaptées (NANSON, 2004).

L'utilisation des conteneurs plus profonds que ceux utilisés actuellement (P35 ; 500 cm³), pour la production des plants de chêne-liège, soulèvent certainement des questions d'ordre techniques, logistiques et même financières. Mais, l'amélioration de la réussite des plantations à court et à long terme justifie les efforts supplémentaires qui peuvent être consentis. Des essais sur le terrain pourraient être conduits en vue de vérifier les résultats obtenus en pépinière. A titre d'exemple, l'usage des conteneurs de 90 cm pour l'élevage en pépinière des plants de *Prosopis glandulosa* Torr., a donné d'excellents résultats pour les plantations dans les milieux arides et désertiques aux Etats-Unis (BAINBRIDGE, 2012).

À la lumière de nos résultats, il paraît que le remplacement des conteneurs utilisés actuellement (P35, 500 cm³), profond de 16 cm environ, pour la production des plants de chêne-liège, par des conteneurs plus pro-

Abdenbi
ZINE EL ABIDINE
Enseignant-chercheur
Ecole nationale
forestière
d'ingénieurs (ENFI)
BP 511 Bd Moulay
Youssef, Tabriquet,
Salé, MAROC
Tél. : 2012662773594
Mél :
zineenfi@hotmail.com
Auteur correspondant

Mohamed
BOUDERRAH
Enseignant-chercheur
ENFI
Mél : mboudenfi@
gmail.com

Abdelmonim
BEKKOUR
Ingénieur
Direction Provinciale
des Eaux et Forêt,
Chaouen, MAROC
Mél : monibekkour@
gmail.com

Mohammed
S. LAMHAMED
Chercheur émérite
Direction de la
recherche forestière
Ministère des forêts,
de la faune
et des parcs
2700, rue Einstein
Québec, QUÉBEC
CANADA G1P 3W8
Mél : mohammed.
lamhamedi@mffp.
gouv.qc.ca

Younes ABBAS
Enseignant-chercheur
Faculté polydiscipli-
naire de Béni Mellal
Mghila B.P. 592
Université Sultan
Moulay Slimane
Béni Mellal, Maroc
et Centre de
Recherche Forestière,
HCEFLCD, BP 763
Agdal, Rabat
MAROC
Mél : abbayouns@
gmail.com.

fonds s'avère nécessaire afin d'améliorer la réussite des reboisements de cette essence, réduire les regarnis et éviter même le recours à l'arrosage estival qui alourdissent encore les frais du reboisement. Cette suggestion est valable aussi pour d'autres essences forestières comme l'arganier qui présente en particulier la même problématique (DALLAHI, 2010). DOMINGUEZ-LERENA *et al.* (2006) ont proposé dans le cas de l'élevage des plants de *Pinus pinea*, essence résineuse, des conteneurs dont le rapport entre la profondeur sur le diamètre du conteneur doit être égal à 4. Dans ce cas, les plants de chêne-liège, essence feuillue, ont besoin pour leur élevage en pépinière de conteneurs ayant une profondeur d'au moins 30 cm. D'autres travaux de recherche complémentaires, aussi bien en pépinière qu'en site de reboisement, sont nécessaires pour valider la profondeur appropriée pour la production des plants de chêne-liège.

Avec les changements climatiques et la diminution des précipitations, la fréquence des années sèches ne va que s'accroître. À cet effet, dans le cas des pays qui seront touchés par l'aridité du climat futur, comme c'est le cas de l'Afrique du Nord, il s'avère nécessaire de repenser au développement de nouveaux itinéraires techniques adaptés à la filière de reboisement de demain.

Remerciements

Ce travail a été effectué dans le cadre de la coopération interuniversitaire entre l'École du génie rural et des forêts (ETSIAM) de l'Université de Cordoue (Espagne) et de l'École Nationale Forestière d'Ingénieurs (ENFI) de Salé (Maroc). Nous tenons à remercier Mme Maripierre Jalbert pour son aide lors du montage des photos, ainsi que M. Mario Renaud pour ses commentaires et ses suggestions sur la dernière version. Nous remercions aussi les évaluateurs anonymes et l'éditeur pour leurs suggestions et leurs commentaires qui ont amélioré le contenu de cet article.

Références bibliographiques

- Aafi A., 2007. Étude de la diversité floristique de l'écosystème de chêne-liège de la forêt de la Maâmora, thèse de Doctorat d'État Es-Science Agronomiques, I.A.V Hassan II, Rabat, 190 p.
- Aussenac G., Guehl, J.M., Kaushal P., Grieu Ph., 1988. Critères physiologiques pour l'évaluation de la qualité des plants forestiers avant plantation. *Rev. For. Fran.* XL - n° sp, pp : 131-139.
- Bainbridge D.A., 2012. Using Tree Shelters as Deep Containers. *Restoration Ecologist*, San Diego, CA. *Tree Planter's Notes*, 55(2), pp: 49-54.
- Benabid A., 2000. Flore et écosystèmes du Maroc. Évaluation et préservation de la biodiversité. Edition Ibis Press, Paris, 359 p.
- Benziane, M, Aafi, A., Sbay, H., El Antry, S., Yassine, M., Ilmen R., Ghailoule, D., 2010. Les écosystèmes naturels marocains et les changements climatiques. Collection Maroc Nature, Centre de Recherche Forestière, Rabat, 88 p.
- Bounakhla A., 2015. Production des plants de chêne-liège (*Quercus suber* L.) dans les pépinières forestières au Maroc : qualité et perspectives d'amélioration. Mémoire de troisième cycle de l'ENFI.
- CEMAGREF, 1987. *Guide technique du forestier méditerranéen français* Aix-en-Provence : Cemagref, 1987.
- Canadell J., Jackson R.B., Ehleringer J.R., Mooney H.A., Sala O.E., Schulze E.D., 1996. Maximum rooting depth of vegetation types at the global scale. *Oecologia* 108, pp : 583-595.
- Carles S., Lamhamedi M.S., Beaulieu J., Stowe D., Margolis H.A., 2011. Existe-t-il des différences entre les vergers à graines d'épinette blanche quant à leurs effets sur la croissance racinaire des plants (2+0) en pépinière forestière ? Dans Colas, F. et lamhamedi, M.S. (éds.). Production de plants forestiers au Québec : la culture de l'innovation. Colloque de transfert de connaissances et de savoir-faire. Carrefour Forêt Innovations, 4-6 octobre 2011, Québec (Canada). pp : 113-118.
- Chirino E., Vilagrosa A., Hernandez E.I., Matos A., Vallejo V.R., 2008. Effects of deep container on morpho-functional characteristics and root colonization in *Quercus suber* L. seedling for reforestation in Mediterranean climate. *For. Ecol. Manage.* 256, pp : 779-785.
- Choat, B., Jansen, S., Brodribb, T.J., Cochard, H., Delzon, S., Bhaskar, R., Bucci, S.J., Field, T.S., Gleason, S.M., Hacke, U.G., Jacobsen, A.L., Lens, F., Maherali, H., Martinez-Vilalta, J., Mayr, S., Mencuccini, M., Mitchell, P.J., Nardini, A., Pittermann, J., Pratt, R.B., Sperry, J.S., Westoby, M., Wright, I.J., Zanne A.E., 2012. Global convergence in the vulnerability of forests to drought. *Nature*, 491, pp: 752-755.
- Dallahi Y., 2010. Effet des pratiques culturales sur les performances des plants d'arganier (*Argania spinosa* L. Skeels) en pépinière et sur le terrain. Mémoire de troisième cycle de l'ENFI, 72 p.
- Dominguez-Lerena S., Herrero N., Carrasco I., Ocana L., Penuelas J.L., Mexal J.G., 2006. Container characteristics influence *Pinus pinea* seedlings development in the nursery and field. *For. Ecol. Manage.* 221, pp: 63-71.

- El Hachemi H., 2010. Cartographie et état des lieux des périmètres de régénération du chêne-liège dans la subéraie de la Maâmora. Mémoire de 3^e cycle, ENFI, salé, 53 p + annexes.
- Finer L., Ohashi M., Noguchi K., Hirano Y., 2011. Factors causing variation in fine root biomass in forest ecosystems. *For. Ecol. Manag.* 261, pp: 265-277.
- Ghaïoule D., Lumaret J., Didier R., Maatouf N., Niogret J., 2007. Evaluation des dégâts par les vers blancs dans les parcelles de régénération du chêne-liège (*Quercus suber* L.) en forêt de la Maâmora (Maroc) et recherche de médiateurs chimiques pour une lutte biologique. *Ann. Soc. Entomol. Fr.*, 43 (1), pp : 1-8
- Grossnickle S., 2005. Importance of root growth in overcoming planting stress. *New Forests*, 30, pp: 273-294.
- Guehl J.M., Falconnet G., Gruez J., 1989. Caractéristiques physiologiques et survie après plantation de plants de *Cedrus atlantica* élevés en plaque de cultures sur différents types de substrats de culture. *An. Sc. For.*, 46, pp. 1-14.
- Halter M.R., Chanway C.P., Harper, G.J., 1993. Growth reduction and root deformation of containerized lodgepole pine saplings 11 years after planting. *For. Ecol. Manage.* 56(1-4), pp: 131-146.
- Jabrane M., 2003. Évaluation de la régénération artificielle du chêne-liège dans la forêt de Bab Azhar (Taza). Mémoire de 3^e cycle, E.N.F.I, Salé, 72 p + annexes.
- Kozłowski T.T., 1992. Carbohydrates sources and sinks in woody plants. *The Botanical Review*, 58(2), pp: 107-222.
- Lamb E.G., Stewart A.C., Cahill J.F., 2012. Root system size determines plant performance following short-term soil nutrient pulses. *Plant Ecol.*, 213, pp : 1803-1812.
- Lamhamedi M., Fortin J.A., 1992. La qualité des plants forestiers : critères d'évaluations et performance dans les sites de reboisement. Actes de la première journée nationale sur les plants forestiers, pp : 35-49.
- Lamhamedi M.S., Ammari Y., Fecteau B., Fortin J.A., Margolis H., 2000. Problématique des pépinières forestières en Afrique du nord et stratégies d'orientation. Cahier d'études et de recherches francophones/Agricultures. Volume 9, n° 5, pp : 369-380.
- Lamond, M., Tavakol R., Riedacker, A., 1983. Influence d'un blocage de l'extrémité du pivot d'un semis de chêne, sur la morphogenèse de son système racinaire. *Ann. Sci. For.* 40(3), pp: 227-249.
- Lepoutre B., 1965. Régénération artificielle du chêne-liège et équilibre climatique de la subéraie en forêt de la Maâmora. *Ann. Rech. For. Maroc*, 9, 188 p.
- Margolis H.A., Brand D.G., 1990. An ecophysiological basis for understanding plantation establishment. *Can. J. For. Res.* 20, pp: 375-390.
- Marion J., 1955. Les repeuplements artificiels en chêne-liège dans la forêt de la Maâmora. *Ann. Rech. For. Maroc*, 3, pp: 39-80.
- Metro A., Sauvage Ch., 1957. Observations sur l'enracinement du chêne-liège en Maâmora (Maroc occidental). *Ann. Rech. For.* Rabat, 5, pp : 3-27.
- Montagnoli A., Terzaghi M., Di Iorio A., Stefania S., Chiatane D., 2012. Fine-root morphological and growth traits in a turkey-oak stand in relation to seasonal changes in soil moisture in the southern Apennines, Italy. *Ecol. Res.* 27, pp: 1015-1025.
- Nahidi A., 2007. Évaluation de la qualité des plants de chêne liège de plaine (forêt de Maâmora) en relation avec le conteneur et le substrat. Mémoire de 3^e cycle, E.N.F.I., Salé, 66 p. + annexes.
- Nanson A., 2004. *Génétique et amélioration des arbres forestiers*. Edition les Presses Agronomiques de Gembloux, 712 p.
- Peman J., Voltas J., Gil Pelegrin E., 2006. Morphological and functional variability in the root system of *Quercus ilex* L. subject to confinement: consequences for afforestation. *Ann. For. Sci.* 63, pp: 425-430.
- Pinto J.R., Marshall J.D., Dumroese R.K., Davis A.S., Cobos D.R., 2011. Establishment and growth of container seedlings for reforestation: A function of stocktype and edaphic conditions. *For. Ecol. Manage.*, 261, pp: 1876-1884.
- Sauvage CH., 1961. Recherche géobotaniques sur les subéraies marocaines. Trav. Inst. Sci. Chér., Rabat, Sér. Bot 21, 462 p.
- South D., Harris S., Bernett J., Hains M., Gjerstad D.H., 2005. Effect of container type and seedlings size on survival and early height growth of *Pinus palustris* seedlings in Alabama, USA. *For. Ecol. Manage.* 204, pp: 385-398.
- Sutherland D.C., 1988. Container volume affects survival and growth of white spruce, black spruce and jack pine seedlings: a literature review. *NJAF*, 5, pp: 185-189.
- Sword Sayer, M.A., Haywood J.D., Suana Sung S-J., 2009. Cavity size and copper root pruning affect production and establishment of container-grown longleaf pine seedlings. *Forest Science*, 55(5), pp: 377-389.
- Thompson B.E., 1985. Seedling morphological evaluation. What you can tell by looking. Dans "Proceedings evaluating seedling quality : principles, procedures and predictive abilities of major tests" (Duryea M.L. Ed.). Oregon State University, pp: 59-71.
- Tsakalimi M., Zagas T., Tsitsoni T., Ganatsas P., 2005. Root morphology, stem growth and field performance of seedlings of two Mediterranean evergreen oaks species raised in different container types. *Plant Soil*, 278, pp: 85-93.
- Zine El Abidine A., Lamhamedi M.S., Taoufik A., 2013. Relations hydriques des arbres sains et dépérissants de *Cedrus atlantica* M. au Moyen Atlas Tabulaire au Maroc. *Geo-Eco-Trop.* 37(2), pp :157-176.
- Zine El Abidine A., 2003. Le dépérissement des forêts au Maroc : analyse et stratégies de lutte. *Sécheresse*, 14(4), pp : 18-20.

Résumé

La survie des plants de chêne-liège (*Quercus suber* L.) dans la majorité des sites de reboisement au Maroc reste très faible à cause principalement de l'utilisation des plants dotés d'un système racinaire peu développé qui ne peut pas satisfaire les besoins hydriques des plants dans des sites caractérisés par un déficit hydrique. L'objectif de ce travail consiste à comparer, en pépinière, la croissance et le développement des plants de deux provenances (montagne et plaine) de chêne-liège élevés, pendant cinq mois, dans quatre types de conteneurs de différentes profondeurs (T : témoin de 16 cm, C : court de 30 cm, M : moyen de 60 cm et L : long de 90 cm).

La croissance des parties aériennes et racinaires des plants de chêne-liège, après cinq mois de culture, a été significativement influencée à la fois par le type du conteneur et par l'origine géographique des glands. Les conteneurs les plus profonds dotés d'une volumétrie élevée (M et L) ont augmenté significativement les valeurs des paramètres morphologiques incluant la hauteur, la longueur des racines, le diamètre au collet, la masse des racines et des parties aériennes par comparaison aux plants produits dans le conteneur témoin (500 cm³) utilisé généralement pour la production des plants de chêne-liège. Pour tous les types de conteneurs, les plants issus des glands de la subéraie de plaine ont montré une croissance relativement supérieure par rapport à celle des plants de la provenance de montagne.

L'utilisation de conteneurs plus profonds pour la production des plants de chêne-liège a contribué significativement à l'amélioration de la croissance des racines et des parties aériennes. La présence d'un système racinaire pivotant long et assez développé permettrait aux plants d'accéder rapidement aux ressources hydriques après plantation tout en leur conférant une tolérance accrue à la sécheresse.

Mots clés : Chêne-liège, croissance, profondeur du conteneur, provenance, pépinière.

Summary

Growth and development of plants from two provenances of cork oak produced in a nursery in containers of different depths

In Morocco, the success of artificial regeneration of the cork oak (*Quercus suber* L.) at most reforestation sites is relatively very low due principally to the use of plants with a root system unsuited to the local sites generally characterized by insufficient water. The aim of this work is to compare in the nursery the growth and development of two cork oak provenances from mountain and plain regions. Plants were cultivated in containers of four depths (T: 16cm as a control, C: shallow with 30cm, M: average with 60cm and L: deep with 90cm).

After five months of growth, shoot and root development of the seedlings were influenced significantly by both the depth of the container used and the origin of the acorns. The deeper containers (M and L) significantly increased the values of the morphological parameters, including stem height, collar diameter, shoot and root biomass, in comparison to those of plants cultivated in the control container (500cm³), a type usually used for plants production. In all types of container, cork oak seedlings from the plains region should greater development than those from the mountain provenance.

The use of deeper containers for cork oak seedling production contributes significantly to the improvement of their shoot and root growth. The presence of a long taproot system should enable cork oak seedlings to better access water reserves after plantation while also enhancing tolerance of drought conditions.

Keywords: cork oak, growth, development, depth of container, provenance, nursery.