

Qualité morpho-physiologique des plants de chêne-liège, *Quercus suber* L., produits dans des pépinières forestières au Maroc

Mohamed BOUDERRAH¹
Abdenbi ZINE EL ABIDINE¹
Assiya BOUNAKHLA²
Mohammed S. LAMHAMED³
Abdelmajid ZOUAHRI⁴
Fouad MOUNIR¹

¹ École nationale forestière d'ingénieurs
BP 511, boulevard Moulay
Youssef, Tabriquet
Salé
Maroc

² Haut Commissariat aux eaux et forêts
Rabat
Maroc

³ Ministère des Forêts, de la Faune
et des Parcs
Direction de la recherche forestière
2700, rue Einstein
Sainte-Foy
Québec
Canada G1P 3W8

⁴ Institut national de la recherche
agronomique (Inra)
Rabat
Maroc



Photo 1.
Récolte du liège de reproduction (liège femelle) à partir des arbres de chêne-liège dans la forêt de la Maâmora.
Photo A. Sesbou.

RÉSUMÉ

QUALITÉ MORPHO-PHYSIOLOGIQUE DES PLANTS DE CHÊNE-LIÈGE, *QUERCUS SUBER* L., PRODUITS DANS DES PÉPINIÈRES FORESTIÈRES AU MAROC

La régénération naturelle des forêts marocaines de chêne-liège (*Quercus suber* L.) est très rare en raison de facteurs anthropiques et environnementaux. Le recours à la plantation de plants produits en pépinière ne permet pas d'atteindre avec succès les objectifs escomptés des programmes de reboisement. Les échecs de plantation sont dus aux variables environnementales peu favorables, aux techniques de préparation des sites de reboisement souvent inappropriées, mais surtout à la mauvaise qualité morpho-physiologique des plants. Cette étude avait pour objectif d'évaluer l'itinéraire technique et la qualité des plants de chêne-liège produits dans quatre pépinières forestières selon les normes marocaines et espagnoles. Les itinéraires techniques précisés dans les Cahiers des prescriptions spéciales (CPS) relatifs à la production des plants de chêne-liège sont peu élaborés, et parfois peu respectés. Les modalités de fertilisation n'y sont pas définies et sont appliquées sans analyse des besoins spécifiques des plants. Le pH des substrats d'élevage des plants est supérieur à 7. Les plants de chêne-liège produits dans les quatre pépinières sont en majorité non conformes, au moins pour un critère, aux normes d'évaluation fixées. Les taux de non-conformité sont généralement supérieurs à 10 %. Le taux des plants présentant des défauts racinaires varie entre 10 % et 48 %. Le chignon racinaire est présent chez tous les plants, avec un taux qui varie entre 10 % et 36,5 %. Les techniques actuelles de production des plants de chêne-liège et les normes adoptées dans les CPS nécessitent d'être revues en vue de produire des plants d'une meilleure qualité permettant d'améliorer les taux de succès des reboisements.

Mots-clés : *Quercus suber*, chêne-liège, pépinière, itinéraire technique, normes de qualité, Maroc.

ABSTRACT

MORPHO-PHYSIOLOGICAL QUALITY OF *QUERCUS SUBER* L. CORK OAK SEEDLINGS PRODUCED IN MOROCCAN FOREST NURSERIES

Natural regeneration in Moroccan cork oak forests (*Quercus suber* L.) is very rare as a result of both human and environmental factors. Plantations using nursery seedlings have had little success in achieving the objectives of reforestation programs. Plantation failures are due to unfavourable environmental variables, inappropriate preparation techniques for reforestation sites and the poor morpho-physiological quality of seedlings produced in nurseries. This study aimed to assess the technical management sequences and the quality of the cork oak seedlings produced in four forestry nurseries according to Moroccan and Spanish standards. The technical sequences specified in the Moroccan standards (SPC) for the production of cork oak seedlings are not very elaborate and sometimes not properly followed. Methods of fertilization are not defined and are applied with no analysis of the specific needs of seedlings. The pH of the culture medium in which the seedlings are grown is higher than 7. Most of the cork oak seedlings produced in the four nurseries do not comply with at least one of the criteria set by established standards. Sub-standard production is generally above 10%. The proportion of seedlings with root defects varies from 10 to 48%. 10 to 36.5% of the root systems are pot-bound. To improve reforestation success rates, the production techniques for cork oak seedlings and the cultivation standards set out in the current Moroccan SPC need to be revised in order to produce seedlings of better quality.

Keywords: *Quercus suber*, cork oak, nursery, technical procedures, quality standards, Morocco.

RESUMEN

CALIDAD MORFOFISIOLÓGICA DE PLANTAS DE ALCORNOQUE, *QUERCUS SUBER* L., PRODUCIDAS EN VIVEROS FORESTALES DE MARRUECOS

La regeneración natural de los bosques de alcornoque *Quercus suber* L.) marroquíes es muy escasa debido a factores antrópicos y ambientales. La siembra de plantas de vivero no permite alcanzar los objetivos fijados por los programas de reforestación. Los fracasos de las siembras son achacables a variables ambientales poco favorables, a técnicas de preparación de los sitios de reforestación a menudo inadecuadas y, sobre todo, a la mala calidad morfofisiológica de las plantas de vivero. El objetivo de este estudio consistía en evaluar el itinerario técnico y la calidad de las plantitas de alcornoque producidas en cuatro viveros forestales según normas marroquíes y españolas. Los itinerarios técnicos especificados en los reglamentos técnicos especiales marroquíes para la producción de plantas de alcornoque no están muy detallados y no siempre se respetan. No se definen los modos de fertilización y estos se aplican sin analizar las necesidades específicas de las plantas. El pH de los sustratos de crecimiento de las plantas es superior a 7. Las plantitas de alcornoque producidas en los cuatro viveros no son en su mayoría conformes, al menos en un criterio, con las normas de evaluación fijadas. Los índices de no conformidad suelen superar el 10%. El porcentaje de plantas con defectos radiculares varía del 10 al 48%. El espiralamiento de las raíces está presente en todas las plantas con un porcentaje que varía del 10 al 36,5%. Hay que revisar las actuales técnicas de producción de plantas de alcornoque y las normas adoptadas en los reglamentos técnicos para producir plantas de vivero de mejor calidad que permitan mejorar los índices de éxito de las reforestaciones.

Palabras clave: *Quercus suber*, alcornoque, vivero, itinerario técnico, normas de calidad, Marruecos.

Introduction

Le chêne-liège, *Quercus suber* L., figure parmi les espèces forestières les plus importantes des forêts méditerranéennes pour ses surfaces occupées et ses multiples rôles socio-économiques et environnementaux. Sa superficie est estimée à environ 2,5 millions d'hectares, dont 40 % sont localisés en Europe (Portugal, Espagne, Italie et France) et le reste en Afrique du Nord (Maroc, Algérie et Tunisie) (Aronson *et al.*, 2009). Au Maroc, le chêne-liège s'étend sur 376 702 ha (soit 15 % de son aire mondiale) à travers la région nord-occidentale du pays, depuis les plaines du littoral atlantique jusqu'au Rif central et le Moyen Atlas oriental (Tazekka). Par ailleurs, des petits massifs ou des îlots de chêne-liège sont répertoriés dans les chaînes montagneuses du Rif oriental (Jbel Karn), du Moyen Atlas (forêt de Jâaba) et du Haut Atlas (Jbel Amsitten, Azilal, Guedrouz, Rheraia) (Aafi, 2007).

Les subéras marocaines offrent, pour les populations locales et pour le pays, des biens et services variés d'une grande importance (liège, bois, glands, parcours, menus produits, loisirs, protection) (photos 1-2). En revanche, ce patrimoine connaît depuis plusieurs décennies une dégradation sous l'effet, en particulier, d'une surexploitation (coupe délictueuse du bois, récolte de liège, ramassage des glands, écimage, surpâturage) (Benabid, 2000). Cette dégradation est aggravée par d'autres facteurs environnementaux, qu'il s'agisse de sécheresses récurrentes, d'incendies ou d'attaques de pathogènes et d'insectes (Zine El Abidine, 2003). Les interactions multiples de ces différents facteurs défavorables sont à l'origine de l'absence de régénération naturelle (photo 3), de la réduction de la densité des peuplements, et de la modification des structures forestières (Benabid, 2000 ; Aafi, 2007).

La réhabilitation et le rajeunissement des subéras dégradées recourent à la régénération assistée ou à la plantation de plants produits en pépinières forestières (photo 4) (El Hachimi, 2010). Pour les dix dernières années, le nombre de plants produits en pépinière a atteint plus de 6 millions, pour une superficie reboisée de 22 411 ha (Anonyme, 2015). Les taux de réussite de ces plantations restent faibles (photo 5), ne dépassant pas 70 % dans les meilleurs sites (El Hachimi, 2010). L'échec peut parfois atteindre 100 %, à la suite notamment de sécheresses prolongées (Zine El Abidine, 2003 ; Ghaioule *et al.*, 2007). La mauvaise qualité morpho-physiologique des plants produits dans les pépinières figure parmi les causes majeures de leur mortalité (Lamhamedi *et al.*, 2000 ; Zine El Abidine *et al.*, 2016a).

L'étape de la pépinière est un maillon clé pour la production de plants de bonne qualité morpho-physiologique, capables de faire face au choc de transplantation, de s'établir et de croître en site de reboisement, et de résister aux stress abiotiques (Margolis et Brand, 1990 ; Lamhamedi *et al.*, 2000 ; Ammari *et al.*, 2003 ; Lamhamedi *et al.*, 2006 ; Zine El Abidine *et al.*, 2016a). Pour améliorer la qualité des plants produits dans les pépinières forestières,

plusieurs pays ont instauré des normes de qualité morphologique (hauteur de la tige, diamètre au collet, biomasse de la partie aérienne et racinaire, rapport entre biomasse de la partie aérienne et biomasse de la partie racinaire) et physiologique (potentiel de croissance racinaire, capacité d'assimilation, capacité de résistance aux stress) (Margolis et Brand, 1990 ; Lamhamedi et Fortin, 1994 ; Lamhamedi *et al.*, 2006). Cependant, les normes de qualité adoptées au Maroc dans les Cahiers des prescriptions spéciales (CPS) sont souvent réduites à la hauteur de la tige et au diamètre au collet. De plus, les intervalles de variation des limites fixées à ces paramètres sont assez larges, ce qui explique en partie la production de plants hétérogènes (El Habachi, 2012). La standardisation des normes de qualité par espèce forestière et leur évaluation rigoureuse s'avèrent nécessaires (Lamhamedi *et al.*, 2000). Cependant, l'application et la validation de ces normes doivent reposer sur des connaissances scientifiques développées sur les espèces locales et validées sur le terrain. En effet, malgré les efforts d'acquisition de connaissances sur les modalités du choix des conteneurs et du substrat de culture (Nahidi, 2007 ; Zine El Abidine *et al.*, 2016a), peu de travaux ont été réalisés au Maroc pour évaluer la qualité morpho-physiologique des plants forestiers, les relations entre les paramètres de qualité adoptés, et les taux de réussite des plantations.

Les objectifs spécifiques de ce travail étaient de documenter les principales pratiques culturelles appliquées dans différentes pépinières marocaines chargées de produire les plants de chêne-liège, de caractériser les plants produits dans ces pépinières, et enfin d'évaluer leur qualité sur la base des normes de qualité prescrites dans les CPS marocains et les normes espagnoles.



Photo 2.

Parcours dédié aux bovins dans la forêt de la Maâmorah au Maroc. Le parcours excessif des animaux domestiques en forêt dégrade les structures forestières des peuplements naturels et affecte négativement la régénération naturelle des peuplements forestiers. Photo M. Sabir.

Méthodes

Évaluation de l’itinéraire technique de production et de la qualité des plants

Les 800 plants de chêne-liège utilisés proviennent de quatre pépinières forestières (Dayet Zerzour, Bab Azhar, Benslimane, Outka), respectivement localisées au voisinage des villes de Sidi Yahia (34° 18' 33" Nord ; 6° 18' 41" Ouest), Taza (34° 12' 36" Nord ; 4° 00' 35" Ouest), Benslimane (33° 36' 44" Nord ; 7° 07' 16" Ouest) et Taounate (34° 32' 11" Nord ; 4° 38' 24" Ouest). Les glands utilisés pour produire ces plants ont été respectivement récoltés dans les subéraies de la Maâmora près de la ville de Kénitra, de Bab Azhar à l’ouest de la ville de Taza, de Benslimane, et de Jbel Outka dans la région de Taounate. Les plants ont été produits durant la campagne 2013-2014. Au moment de la livraison des plants, leurs itinéraires techniques de production ont été notés, depuis la récolte des glands jusqu’à l’ensemencement et leur livraison.

Les pratiques de production appliquées en pépinière ont été comparées à celles décrites dans les clauses techniques des CPS adoptées officiellement. L’évaluation de la qualité des plants a été effectuée selon les normes adoptées

au Maroc au seuil d’acceptation de 10 %, et selon les normes définies en Andalousie (Espagne) au seuil d’acceptation de 5 % (Anonyme, 2011). Les normes définies en Andalousie sont plus détaillées que celles adoptées au Maroc (tableau I). L’évaluation des caractéristiques morphologiques a porté sur un échantillon de 200 plants choisis aléatoirement dans chaque pépinière. Les paramètres d’évaluation étaient la hauteur totale de la tige (Ht), le diamètre au collet (Dc), la masse sèche de la partie aérienne (MSA), la masse sèche de la partie racinaire (pivot et fines racines) (MSR), la masse sèche des seules racines fines (MSRf), et l’indice morphologique (rapport MSA/MSR). Le séchage des plants a été effectué dans une étuve à une température de 60 °C pendant 48 heures. La masse sèche a été déterminée à l’aide d’une balance de précision (0,01). Les défauts proscrits relatifs aux paramètres morphologiques des plants ont été évalués en pourcentage (nombre de plants présentant le défaut rapporté au nombre total).

Le statut nutritionnel des plants a été évalué sur des échantillons de la partie aérienne et de la partie racinaire afin de déterminer les concentrations des principaux éléments minéraux : azote (N), phosphore (P), potassium (K), magnésium (Mg) et calcium (Ca).

Tableau I.

Critères d’évaluation de la qualité des plants de chêne-liège utilisés en Andalousie (Anonyme, 2011 *in* El Habachi, 2012) et au Maroc selon les Cahiers des prescriptions spéciales (CPS) adoptés par les différentes pépinières.

Normes de qualité	Espagne			Maroc											
	Min	Max	Écart	CPS Dayet Zerzour			CPS Bab Azhar			CPS Outka			CPS Benslimane		
				Min	Max	Écart	Min	Max	Écart	Min	Max	Écart	Min	Max	Écart
Critères morphologiques															
Ht (cm)	23,81	66,77	42,96	25	CNF*	---	20	50	30	20	50	30	20	50	30
Dc (mm)	3,10	4,61	1,51	2	CNF	---	2	6	4	5	7	2	2	5	3
MSA (g)	2,51	6,17	3,66	CNF	CNF	---	CNF	CNF	---	CNF	CNF	---	CNF	CNF	---
MSR (g)	4,90	7,92	3,02	CNF	CNF	---	CNF	CNF	---	CNF	CNF	---	CNF	CNF	---
Indices morphologiques															
MSA/MSR	0,43	0,76	0,33	CNF			CNF			CNF			CNF		
Critères physiologiques															
N (%)	1,20	1,27	0,07	(critères non fixés par les CPS au Maroc)											
P (%)	0,07	0,15	0,08												
K (%)	0,41	0,45	0,04												
Ca (%)	0,19	0,22	0,03												
Mg (%)	0,35	0,64	0,29												

Critères qualitatifs (11) :

Blessures non cicatrisées ; dessèchement partiel ou total ; tiges multiples ; tiges présentant une forte courbure ; tiges avec plusieurs flèches ; tiges dépourvues de bourgeon terminal sain ; dommages au niveau du collet ; dommages au niveau du bourgeon terminal ; déformations racinaires (chignon, pivot coudé, nœud d’étranglement...) ; présence des indices d’échauffement, de fermentations ou de moisissures ; présence des signes de carence physiologique (jaunissement prononcé).

MSA : masse sèche de la partie aérienne ; MSR : masse sèche de la partie racinaire (racines fines et pivots) ; MSRf : masse sèche des racines fines ; Ht : hauteur de la tige ; Dc : diamètre au collet.



Photo 3.

Peuplement naturel de chêne-liège (*Quercus suber* L.) dans la forêt de la Maâmora au Maroc, avec absence d'un sous-bois et d'une régénération naturelle assurant normalement la pérennité des peuplements forestiers naturels.
Photo M. Sabir.



Photo 4.

Production des plants de chêne-liège en pépinière pour les besoins des programmes de reboisement ayant pour objectif d'assurer la régénération artificielle des peuplements de chêne-liège dégradés ou exploités.
Photo M. Bouderrah.

L'analyse minérale des parties aériennes et racinaires des plants a été réalisée sur quatre échantillons composites par pépinière. Un échantillon composite, d'une masse minimale de 5 g, était constitué d'un mélange de la masse sèche de dix plants. Outre l'analyse des tissus des plants, l'évaluation a porté sur l'analyse physico-chimique de quatre échantillons aléatoires du substrat de culture pour chaque pépinière. Les particules grossières ont été éliminées par broyage. Le broyat a été tamisé dans un tamis à maille de 2 mm pour obtenir un substrat fin. La densité moyenne apparente du substrat de culture a été déterminée en divisant la masse sèche moyenne du substrat d'un plant par le volume de l'alvéole contenant le plant (valeur exprimée en g/cm^3). L'analyse physico-chimique du substrat (500 g par échantillon) a permis de déterminer la granulométrie (% de sable, limon et argile), la composition en matière organique, la concentration en N, P, K, Mg, Ca et le pH (pH_{eau} et pH_{KCl}). La granulométrie a été effectuée par densimétrie (Bouyoucous, 1962), la teneur en matière organique par la méthode de Walkley et Black (1934), et celle du calcaire par le calcimètre de Bernard (Muller et Gatsner, 1971). La concentration en azote (substrat et matériel végétal) a été déterminée par la méthode de Kjeldahl (Van Rast *et al.*, 1999), celle du phosphore par la méthode Olsen (1954) dans le cas du substrat, et par incinération dans un four à mouflon (Pinta, 1976) dans le cas des parties aériennes et racinaires. La concentration des trois autres éléments a été mise en évidence par extraction à l'acétate d'ammonium (Bower *et al.*, 1952) dans le cas du substrat et par incinération dans un four à mouflon (Pinta, 1976) dans le cas du matériel végétal. Les analyses physico-chimiques des substrats de culture et des tissus des plants ont été réalisées au laboratoire d'analyses de l'Institut national de la recherche agronomique (Inra) à Rabat.

Analyses statistiques

Les données ont été analysées à l'aide du logiciel statistique SPSS V20 et R selon une analyse de la variance (Anova), pour déterminer l'effet pépinière (origine et itinéraire technique) sur la qualité des plants produits. La comparaison des moyennes des différentes variables a été effectuée à l'aide du test statistique de Student, Newman et Keuls (SNK). Les différences ont été considérées selon un seuil de probabilité de 5 %.

Résultats

Production des plants de chêne-liège dans les quatre pépinières forestières

L'itinéraire technique de production des plants de chêne-liège dans les quatre pépinières forestières varie selon le CPS adopté et sa mise en pratique par les pépiniéristes. Les CPS appliqués à Dayet Zerzour et à Outka prévoient un traitement préventif antifongique des glands, avant leur stockage, à base de Benlate à raison de 0,5 g/l. Les CPS des pépinières de Dayet Zerzour, Bab Azhar et Benslimane prévoient, lors de l'opération d'ensemencement, que les glands soient placés horizontalement dans les cavités des conteneurs, à une profondeur de 5 cm. Cette exigence échappe au CPS de la pépinière d'Outka. L'ensemencement dans les pépinières de Dayet Zerzour et Bab Azhar relève de glands prégermés respectivement fournis par les stations de semences de Sidi Amira (forêt de la Maâmora) et d'Azrou (Moyen Atlas). Ceci n'est pas exigé par les pépinières de l'Outka et Benslimane, où l'ensemencement est effectué directement, avec des glands ramassés en forêt.

Les autres étapes de l'itinéraire technique révèlent beaucoup plus de différences que de similitudes entre les pépinières. Ainsi, le semis s'effectue en janvier ou s'étale de janvier à février, respectivement, dans les pépinières de Bab Azhar et Dayet Zerzour. Par contre, il est précoce ou tardif, respectivement, pour les pépinières d'Outka (décembre-janvier) et Benslimane (début février). Les glands sont prégermés dans les pépinières de Dayet Zerzour, de Bab Azhar et de Benslimane et semés à raison d'un gland par alvéole. En revanche, un semis direct est effectué à raison d'un à deux glands par alvéole dans la pépinière de l'Outka. L'élevage s'effectue dans des portoirs rigides (conteneurs) alvéolés dans les quatre pépinières. Cependant, le volume de l'alvéole est de 400 cm³ sans surélévation des portoirs à la pépinière de l'Outka, et de 500 cm³ dans les trois autres pépinières, avec surélévation des portoirs pour favoriser davantage le cernage aérien des racines.



Photo 5.

Reboisement de chêne-liège dans la forêt de la Maâmora au Maroc caractérisé par de jeunes arbres dépérissant, et une absence de plants dans certaines parties de la plantation. Photo A. Zine El Abidine.

La nature et la composition du substrat de culture varient selon les pépinières, bien que tous les CPS stipulent que le substrat de culture doit être composé de 75 % de tourbe commerciale et 25 % de terreau forestier. Le pourcentage de tourbe est parfois réduit à 65 % à l'Outka et remplacé par un compost commercial, pour des raisons économiques. La fertilisation est appliquée uniquement dans les pépinières de Dayet Zerzour et Benslimane, où elle s'effectue, d'une manière aléatoire, à base d'un engrais NPK 20-20-20, sans préciser les modalités de détermination des besoins des plants, ni les doses et la période d'application. Pour toutes les pépinières, les plants sont régulièrement arrosés et désherbés manuellement ; mais l'eau d'arrosage n'est pas analysée.

La texture des substrats de culture diffère significativement d'une pépinière à l'autre (tableau II). Elle est sablo-limoneuse pour les pépinières de Dayet Zerzour (Sidi Yahia) et de l'Outka, limono-argilo-sableuse pour la pépinière de Bab Azhar, et limono-sableuse pour celle de Benslimane.

Tableau II.

Analyse granulométrique, densité, teneur en matière organique et en calcaire actif du substrat de culture utilisé pour l'élevage des plants de chêne-liège dans les quatre pépinières étudiées (n = 4, moyenne ± écart type).

Pépinière	Terre minérale (%)			CaCO ₃ (%)	Matière organique (%)	Texture du substrat	Densité du substrat
	Argile (%)	Limons (%)	Sable (%)				
Dayet Zerzour	10 ± 0 a	14,45 ± 1,72a	74,55 ± 1,71d	0,0	2,2 ± 0,22a	SL	0,48 ± 0,02b
Bab Azhar	27,50 ± 5b	47,65 ± 5,44d	22,10 ± 0,35a	0,0	2,8 ± 0,70a	LAS	0,50 ± 0,03b
Outka	12,50 ± 5a	26,20 ± 2,89b	60,05 ± 3,28c	0,0	2,03 ± 0,71a	SL	0,79 ± 0,03a
Benslimane	17,5 ± 5a	37,10 ± 6,70c	43,65 ± 1,58b	0,0	2,03 ± 0,54a	LS	0,43 ± 0,00c

SL : sablo-limoneux ; LAS : limono-argilo-sableux ; LS : limono-sableux.

Verticalement, les moyennes suivies de lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5 % selon le test de SNK.

Tableau III.

Concentration des principaux éléments minéraux et des pH des substrats de culture utilisés pour l'élevage des plants de chêne-liège dans les quatre pépinières étudiées (n = 4, moyenne ± écart type).

Élément minéral (%) et pH	Pépinière			
	Dayet Zerzour	Bab Azhar	Outka	Benslimane
N	0,073 ± 0,015b	0,115 ± 0,017c	0,038 ± 0,013a	0,048 ± 0,005a
P	0,017 ± 0,011b	0,016 ± 0,007b	0,010 ± 0,002ab	0,002 ± 0,000a
K	0,013 ± 0,002a	0,055 ± 0,010c	0,033 ± 0,005b	0,013 ± 0,000a
Ca	0,253 ± 0,038a	0,325 ± 0,060b	0,215 ± 0,039a	0,235 ± 0,017a
Mg	0,030 ± 0,013a	0,023 ± 0,011a	0,021 ± 0,012a	0,033 ± 0,004a
pH _{eau}	8,00 ± 0,082a	8,28 ± 0,419a	8,03 ± 0,05a	7,95 ± 0,129a
pH _{KCl}	7,13 ± 0,096a	7,18 ± 0,05a	7,28 ± 0,05a	7,23 ± 0,15a

Horizontalement, les moyennes suivies de lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5 % selon le test de SNK.

Tableau IV.

Paramètres morphologiques des plants de chêne-liège produits dans les quatre pépinières étudiées (n = 200, moyenne ± écart type).

Paramètres morphologiques	Pépinière			
	Dayet Zerzour	Bab Azhar	Benslimane	Outka
Ht (cm)	53,62 ± 13,4a	29,94 ± 8,69b	30,00 ± 9,86b	18,08 ± 3,99c
Dc (mm)	5,52 ± 0,98a	4,73 ± 0,90b	4,10 ± 0,77c	3,17 ± 0,55d
MSA (g)	5,35 ± 2,31a	3,39 ± 1,61b	3,06 ± 1,20c	1,15 ± 0,33d
MSR (g)	7,56 ± 2,78a	6,72 ± 1,88b	6,96 ± 2,33b	1,83 ± 0,68c
MSRf (g)	2,52 ± 1,33a	1,21 ± 0,52c	1,58 ± 0,68b	0,29 ± 0,18d
Rapport « MSA/MSR »	0,75 ± 0,27a	0,52 ± 0,19c	0,46 ± 0,16d	0,69 ± 0,25b

MSA : masse sèche de la partie aérienne ; MSR : masse sèche de la partie racinaire (racines fines et pivots) ; MSRf : masse sèche des racines fines ; Ht : hauteur de la tige ; Dc : diamètre au collet.

Horizontalement, les moyennes suivies de lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5 % selon le test de SNK.

La teneur en matière organique des substrats de culture est similaire entre les pépinières, de l'ordre de 2 et 2,8 %. La densité apparente du substrat de culture varie significativement selon les pépinières. Le substrat de culture le plus dense est celui utilisé à la pépinière de l'Outka, avec une densité apparente moyenne de 0,79 g/cm³. Le substrat le moins dense est utilisé dans la pépinière de Benslimane, avec une densité moyenne de 0,43 g/cm³. Les densités apparentes des deux autres pépinières occupent une situation intermédiaire, soit 0,48 et 0,50 g/cm³ respectivement à Dayet Zerzour et Benslimane (tableau II). Par contre, le pH est similaire entre les substrats de culture des quatre pépinières (pH_{eau} = 8 ; pH_{KCl} = 7) (tableau III).

La composition des quatre substrats de culture utilisés en éléments minéraux majeurs montre que la concentration en N, K, P et Ca diffère significativement selon l'origine de production des plants, alors que la teneur en Mg est similaire entre les pépinières. Les concentrations en N, K, P et Ca les plus élevées ont été enregistrées dans le substrat plus argileux utilisé dans la pépinière de Bab Azhar. Par contre, les concentrations les moins élevées ont été observées dans le substrat de la pépinière de Benslimane pour le cas du phosphore, à la pépinière de Dayet Zerzour et celle de Benslimane pour le potassium, et à la pépinière de l'Outka et celle de Benslimane pour l'azote. Les concentrations les moins élevées du calcium sont observées dans les substrats de culture utilisés dans les pépinières de l'Outka, Benslimane et Dayet Zerzour (tableau III).

Tableau V.

Concentrations (%) des éléments minéraux majeurs (azote N, phosphore P, potassium K, calcium Ca et magnésium Mg) dans les parties aériennes (PA) et dans les parties racinaires (PR) des plants produits pour les quatre pépinières étudiées (n = 4, moyenne ± écart type).

Élément minéral (%)	Matériel végétal	Pépinière			
		Dayet Zerzour	Bab Azhar	Outka	Benslimane
N	PA	1,56 ± 0,77a	1,30 ± 0,07a	1,05 ± 0,68a	1,35 ± 0,63a
	PR	1,37 ± 0,82a	0,84 ± 0,16a	0,91 ± 0,31a	0,70 ± 0,17a
P	PA	0,13 ± 0,01b	0,15 ± 0,02b	0,44 ± 0,07a	0,24 ± 0,9b
	PR	0,18 ± 0,02b	0,32 ± 0,35b	0,64 ± 0,09a	0,22 ± 0,05b
K	PA	3,30 ± 0,18c	3,71 ± 0,11b	4,70 ± 0,25a	2,83 ± 0,18d
	PR	3,36 ± 0,37b	3,81 ± 0,21b	4,29 ± 0,30a	1,90 ± 0,17c
Ca	PA	2,15 ± 0,21a	1,95 ± 0,42a	1,02 ± 0,02b	1,35 ± 0,49b
	PR	1,49 ± 0,19a	1,39 ± 0,57a	1,39 ± 0,63a	1,32 ± 0,63a
Mg	PA	0,53 ± 0,19a	0,62 ± 0,29a	0,27 ± 0,06a	0,42 ± 0,32a
	PR	0,46 ± 0,08a	0,44 ± 0,24a	0,53 ± 0,36a	0,39 ± 0,30a

Horizontalement, les moyennes suivies de lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5 % selon le test de SNK.

Caractérisation morphologique et nutritionnelle des plants de chêne-liège

Les caractéristiques morphologiques diffèrent significativement selon l'origine des plants (tableau IV). Les plants de fortes dimensions sont ceux produits par la pépinière de Dayet Zerzour. Ceux de dimensions inférieures sont produits par la pépinière de l'Outka. Le rapport MSA/MSR est inférieur à 1 chez tous les plants. Cette prédominance de la partie racinaire est due à la masse sèche du pivot. La masse sèche des racines fines est très inférieure à celle du pivot (tableau IV).

Les concentrations en P, K et Ca dans les tissus des parties aériennes varient significativement selon la pépinière d'origine. En revanche, la différence est non significative pour N et Mg (tableau IV). Les concentrations les plus élevées sont obtenues chez les plants produits par la pépinière de l'Outka, pour P et K. Au contraire, les concentrations les moins élevées en P et K sont observées chez les plants de Dayet Zerzour, Bab Azhar et Benslimane pour P, et de Benslimane pour K. Les plants de Dayet Zerzour et Bab Azhar ont une concentration supérieure en Ca.

Dans les tissus des racines, l'effet pépinière n'a été significatif que pour P et K. Les concentrations les plus élevées sont observées dans les racines, dans la pépinière de l'Outka, et les moins élevées dans les pépinières de Dayet Zerzour, Bab Azhar et Benslimane pour P, et la pépinière de Benslimane pour K (tableau V). Les concentrations en N, Ca et Mg sont cependant statistiquement similaires dans les racines des plants produits pour les quatre pépinières (tableau V). Par ailleurs, les concentrations en éléments minéraux observées dans les parties aériennes et les parties racinaires sont nettement plus élevées que celles révélées dans les substrats de culture (tableau III).

Évaluation de la qualité des plants de chêne-liège

L'évaluation a montré que tous les plants produits dans les quatre pépinières sont non conformes aux normes pour au moins un critère d'évaluation. Les pourcentages de non-conformité enregistrés diffèrent selon le paramètre évalué et les normes appliquées, ainsi que selon la pépinière d'origine (tableau VI).

L'évaluation, sur la base des paramètres qualitatifs, des plants des quatre pépinières révèle que tous les lots sont non conformes pour au moins un caractère qualitatif, qui parfois diffère d'un lot à l'autre (tableau VII). Dans la majorité des cas, les critères réducteurs communs concernent la partie racinaire (racine principale enroulée ou multiple). Le taux des plants présentant des défauts racinaires varie de 10 à 48 %. Le chignon racinaire, défaut redoutable, est présent dans les quatre pépinières, avec un taux de 10 à 36,5 % (tableau VII).

L'évaluation de la nutrition minérale des parties aériennes (N, P, K, Ca et Mg), selon les normes définies en Espagne, révèle que les plants produits dans les quatre pépinières sont non conformes pour au moins un élément minéral (tableau VIII). La non-conformité s'est manifestée chez tous les plants pour N, K et Ca. Pour les deux autres éléments (P, Mg), la non-conformité est observée dans les pépinières de l'Outka et Benslimane pour P, et à l'Outka uniquement pour Mg (tableau VIII).

Tableau VI.

Pourcentages des plants hors normes par rapport aux valeurs de référence pour la hauteur (H), le diamètre au collet (Dc), la masse sèche de la partie aérienne (MSA), la masse sèche de la partie racinaire (MSR) et le rapport MSA/MSR des plants de chêne-liège produits dans les pépinières de Dayet Zerzour, Bab Azhar, Outka et Benslimane (n = 200).

Paramètres d'évaluation		Proportion de plants hors normes (%)							
		Selon les normes marocaines				Selon les normes espagnoles			
		Dayet Zerzour	Bab Azhar	Outka	Benslimane	Dayet Zerzour	Bab Azhar	Outka	Benslimane
Ht (cm)	Min	3	8,5	70,5	12,5	2,5	26,5	92	29,5
	Max	-	2,5	0	3,5	14,5	0,5	0	0
Dc (mm)	Min	0	0	99,5	0	0,5	3	46	9
	Max	-	7,5	0	12,5	85	58,5	1	24
MSA (g)	Min	NNF	NNF	NNF	NNF	2,5	24	100	39
	Max	NNF	NNF	NNF	NNF	20	2	0	2
MSR (g)	Min	NNF	NNF	NNF	NNF	15	13,5	100	17
	Max	NNF	NNF	NNF	NNF	40,5	23,5	0	30
MSA/MSR	Min	NNF	NNF	NNF	NNF	10	35	13,5	49,5
	Max	NNF	NNF	NNF	NNF	43,5	8,5	32,5	4,5

NNF : norme non fixée ; MSA : masse sèche de la partie aérienne ; MSR : masse sèche de la partie racinaire (racines fines et pivots) ; Ht : hauteur de la tige ; Dc : diamètre au collet.

Tableau VII.

Pourcentage des plants de chêne-liège non conformes aux normes qualitatives dans les quatre pépinières (n = 200).

Défauts	Proportion des plants (%)			
	Dayet Zerzour	Bab Azhar	Benslimane	Outka
Blessures non cicatrisées	0	0	1	0
Tiges multiples	3,5	27,5	10,5	10,5
Tiges fourchues	2	12	13,5	8
Tiges courbées	2	14	11	1
Bourgeons terminaux avortés	10	9	7	14
Collets endommagés	0	0	0	0
Signes de jaunissement	7	1	0	0
Brûlures foliaires	6,5	9,5	17	3,5
Racines coudées	14	15	9,5	24
Racines avec nœud d'étranglement	11	18	11	3
Racines montantes	2,5	0,5	2	0
Pivots multiples	24	42	48	32
Pivot enroulé (en spirale)	20,5	18	36,5	10
Insuffisance racinaire	10	2	2,5	1,5
Racines pourries ou fermentées	1	1	5	0

Tableau VIII.

Évaluation de la teneur en éléments minéraux majeurs des parties aériennes des plants produits dans les quatre pépinières considérées, selon les normes nutritionnelles définies en Espagne (Anonyme, 2011 *in* El Habachi, 2012).

Élément minéral (%)	Normes espagnoles		Valeur comparée (%) / Valeur de référence (%)							
			Dayet Zerzour		Bab Azhar		Benslimane		Outka	
			Valeur	Conf	Valeur	Conf	Valeur	Conf	Valeur	Conf
N	Min	1,2	1,56	HN	0,98	HN	1,34	HN	1,04	HN
	Max	1,27								
P	Min	0,07	0,13	N	0,15	N	0,24	HN	0,44	HN
	Max	0,15								
K	Min	0,41	3,30	HN	3,71	HN	2,83	HN	4,70	HN
	Max	0,45								
Ca	Min	0,22	2,15	HN	1,95	HN	1,35	HN	1,02	HN
	Max	0,9								
Mg	Min	0,35	0,53	N	0,62	N	0,42	N	0,27	HN
	Max	0,64								

Conf = conformité ; N = respecte les normes ; HN = hors normes.

Discussion

La comparaison entre les itinéraires techniques prescrits dans les cahiers de prescriptions spéciales (CPS) pour la production des plants de chêne-liège et ceux réalisés dans les quatre pépinières étudiées a montré que plusieurs clauses reliées aux techniques culturales ne sont pas conformes (ensemencement de glands non prégermés, non-respect du volume des alvéoles des conteneurs, composition du substrat, fertilisation). Le non-respect des pratiques définies par les CPS semble le résultat d'un manque de formation du personnel chargé de produire les plants ou de l'indisponibilité des intrants décrits dans les CPS. Les calendriers de fertilisation doivent être définis et appliqués à la suite d'une analyse minérale des tissus et du substrat, selon les différentes phases de croissance (Lamhamedi *et al.*, 2006, 2011).

Les différences révélées dans les paramètres morphologiques peuvent s'expliquer par les pratiques culturales appliquées dans les différentes pépinières, et probablement par les différences génétiques entre les glands des populations récoltées (Lamhamedi *et al.*, 2000, 2006 ; Zine El Abidine *et al.*, 2016a).

Le développement excessif des plants produits par la pépinière de Dayet Zerzour (Sidi Yahia) peut être dû à un excès d'arrosage et de fertilisation. L'absence de registre spécifique aux doses appliquées des fertilisants (mg/plant/application) et à leurs fréquences rend difficile l'interprétation de ces différences de dimensions observées entre les plants. Cette remarque est valable aussi pour le régime d'arrosage des plants et la qualité de l'eau utilisée, qui malheureusement n'a pas été évaluée (Lamhamedi *et al.*, 2000).

Les plants produits à Dayet Zerzour sont généralement de plus grande dimension, et donc potentiellement moins résistants à la sécheresse, en conditions hydriques

défavorables ou par forte évapotranspiration (Lamhamedi *et al.*, 1997, 1998 ; Breda *et al.*, 2004 ; Zine El Abidine *et al.*, 2013, 2016b).

L'évaluation de la qualité des plants selon la masse sèche des racines et son rapport avec celle de la partie aérienne a montré qu'une bonne proportion des plants sont non conformes aux normes. Leur masse racinaire est plus élevée que celle de la masse aérienne, mais en raison d'une croissance excessive du pivot en épaisseur (tableau IV), que favorise l'usage d'un conteneur d'élevage peu profond (500 cm³) (Zine El Abidine *et al.*, 2016a). La masse sèche des racines n'est pas un critère satisfaisant de qualification du système racinaire (Lamhamedi, 2011). En effet, la croissance et la survie des plants sont fortement dépendants de la viabilité des racines, leur architecture, leur distribution, leur longueur, leur colonisation fongique sous forme de mycorhizes, ainsi que leur cohésion avec la carotte d'élevage (Margolis et Brand, 1990 ; Chirino *et al.*, 2008 ; Lamhamedi, 2011 ; Zine El Abidine *et al.*, 2016a). Les racines fines ont un rôle déterminant dans l'absorption de l'eau et des éléments minéraux (Finer *et al.*, 2011 ; Montagnoli *et al.*, 2012).

La caractérisation morphologique des plants et leur évaluation selon les normes marocaines, moins développées, et selon les normes espagnoles, plus nombreuses, détaillées et précises, montrent que tous ceux produits dans les quatre pépinières sont non conformes pour au moins un caractère. Le taux de non-conformité, qui doit normalement exclure les plants lors d'une réception, varie selon les paramètres d'évaluation entre 10 et 100 %. Ces résultats sont similaires à l'évaluation effectuée par El Habachi (2012) sur des plants de chêne-liège produits à Dayet Zerzour, Bab Azhar et Séville en Espagne durant la campagne 2010-2011. La qualité inférieure de ces plants produits par les différentes pépinières est amplifiée par le taux élevé d'anomalies et de défauts racinaires variant entre

10 et 50 %. Ces défauts racinaires seraient le résultat des techniques culturales, principalement l'usage de conteneurs peu profonds, d'un substrat de culture plus dense et d'un arrosage inadapté (Lamhamedi *et al.*, 2000 ; Peman *et al.*, 2006 ; Lamhamedi *et al.*, 2006 ; Zine El Abidine *et al.*, 2016a). Les défauts racinaires peuvent être à l'origine des échecs de reboisement constatés (Ghaioule *et al.*, 2007 ; El Hachimi, 2010 ; Zine El Abidine *et al.*, 2016a). En effet, le rôle des racines est déterminant dans le développement des plants nouvellement plantés et leur adaptation aux conditions du site de plantation, notamment lorsque les réserves hydriques des sols sont limitées (Tsakalimi *et al.*, 2005 ; Peman *et al.*, 2006 ; Chirino *et al.*, 2008 ; Finer *et al.*, 2011 ; Lamb *et al.*, 2012 ; Montagnoli *et al.*, 2012 ; Bainbridge, 2012 ; Zine El Abidine *et al.*, 2016a, 2016b). Par ailleurs, le substrat utilisé ne paraît pas favorable à la culture des plants, son pH dépassant les valeurs recommandées allant de 5,5 à 6,5 (Lamhamedi *et al.*, 2011). Un pH supérieur à 6,5 affecte négativement la disponibilité du phosphore et du fer (Lamhamedi *et al.*, 2011). Cette anomalie de pH pourrait résulter du terreau forestier utilisé et du substrat organique et minéral incorporé (Lamhamedi *et al.*, 2000 ; Ammari *et al.*, 2003). Ces facteurs peuvent aussi être à l'origine des anomalies de la composition minérale des tissus des plants, comparée aux normes espagnoles (Anonyme, 2011).

Conclusion

L'analyse des itinéraires techniques adoptés par les CPS pour la production des plants de chêne-liège dans quatre pépinières forestières marocaines (Dayet Zerzour, Bab Azhar, Benslimane et Outka) durant la campagne 2013-2014 révèle que la mise en œuvre de leurs clauses n'est généralement pas respectée. L'évaluation de la qualité morpho-physiologique des plants montre que le taux de non-conformité dépasse généralement 10 % et atteint selon le paramètre d'évaluation 100 %, comme dans le cas de la hauteur de la tige. Les anomalies morphologiques sont principalement observées dans les systèmes racinaires. En outre, les caractéristiques minérales des tissus, exprimées par les macroéléments, ne sont pas conformes aux normes fixées en Espagne. Ces normes ne sont d'ailleurs pas fixées par les CPS adoptés au Maroc.

Les anomalies et les différences observées dans les caractéristiques des plants issus des différentes pépinières sont principalement dues aux itinéraires techniques mis en œuvre.

Les normes adoptées et les pratiques de production ne sont pas issues de résultats de recherches scientifiques, de tests de validation sur le terrain et d'une formation appropriée des responsables et des techniciens chargés de la production. Ce diagnostic pourrait expliquer le fort taux d'échec des plantations observé sur le terrain, dans le cas du chêne-liège mais également pour celui d'autres essences forestières autochtones.

Des recherches scientifiques sont nécessaires pour définir des normes de qualité morphologique et physiologique des plants de chêne-liège. Les normes sur la nutrition minérale pourraient être déterminées par des expérimentations en pépinière et sur le terrain, par région de

provenance des semences. Cette approche permettrait de définir des CPS spécifiques à chaque région et d'améliorer les itinéraires techniques de production. Il est impératif de ne plus utiliser le terreau forestier, même en très faibles proportions, car il peut constituer une source de graines de mauvaises herbes et d'agents pathogènes (Lamhamedi *et al.*, 2000). Le calendrier annuel de fertilisation doit être ajusté selon les essences, les stades de croissance, le gabarit de plant recherché, la fertilité du substrat et la qualité de l'eau (Lamhamedi *et al.*, 2006). Les conteneurs d'élevage de plants de chêne-liège doivent avoir une profondeur supérieure à celle utilisée actuellement (500 cm³ de volume) pour permettre une croissance adéquate du système racinaire (Zine El Abidine *et al.*, 2016a). L'amélioration de l'architecture du système racinaire permettrait une meilleure reprise des plants après leur mise en terre, ce qui contribuerait à leur conférer une résistance accrue à la sécheresse (Zine El Abidine *et al.*, 2016b). De même, il serait judicieux d'éviter la production de plants de fortes dimensions et leur mise en terre dans les sites où la fréquence des sécheresses est élevée. Ce type de plants est très vulnérable aux conditions de sécheresse. Les recommandations proposées pourraient être aussi valables pour la production des plants d'autres essences forestières, et sont justifiées dans un contexte de changement climatique.

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 en sciences agronomiques, IAV Hassan II, Rabat, Maroc, 190 p.
- Ammari Y., Lamhamedi M. S., Akrimi N., Zine El Abidine A., 2003. Compostage de la biomasse forestière et son utilisation comme substrat de croissance pour la production de plants en pépinières forestières modernes. *Revue de l'INAT*, 18 (2) : 99-119.
- Anonyme, 2015. Statistique du service de reboisement. Rabat, Maroc, Haut-Commissariat aux eaux et forêts et à la lutte contre la désertification, 4 p.
- Anonyme, 2011. Normes de qualité de production des plants de chêne-liège en Andalousie (Espagne). *In* : El Habachi M., 2012. Normes de qualité des plants de chêne-liège produits au Maroc et en Andalousie et comportement de la provenance « Maâmora » sous la contrainte hydrique édaphique. Mémoire de 3^e cycle, ENFI, Salé, Maroc, 135 p.
- Aronson J., Pereira J. S., Pausas J. G. (eds), 2009. Cork oak woodlands on the edge: Ecology, adaptive management, and restoration. Washington-Covelo-London, Island Press, 352 p.
- Bainbridge D. A., 2012. Using tree shelters as deep containers. San Diego, CA, USA, Restoration Ecologist. *Planter's Notes*, 55 (2): 49-54.
- Benabid A., 2000. Flore et écosystèmes du Maroc. Évaluation et préservation de la biodiversité. Paris, France, Ibis Press, 359 p.
- Bouyoucouc G. S., 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agronomy Journal*, 54 (5): 464-465.

- Bower C. A., Reitemeier R. F., Fireman M., 1952. Exchangeable cations analysis of saline and alkali soils. *Soil Science*, 73: 251-261.
- Breda N., Granier A., Dreyer E., 2004. Physiologie des arbres. Les effets de la sécheresse et de la canicule. *Forêts de France*, 474: 22-23.
- 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. *Forest Ecology and Management*, 256: 779-785.
- El Habachi M., 2012. Normes de qualité des plants de chêne-liège produits au Maroc et en Andalousie et comportement de la provenance « Maâmora » sous la contrainte hydrique édaphique. Mémoire de 3^e cycle, ENFI, Salé, Maroc, 135 p.
- El Hachimi 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, Maroc, 53 p.
- Finer L., Ohashi M., Noguchi K., Hirano Y., 2011. Factors causing variation in fine root biomass in forest ecosystems. *Forest Ecology and Management*, 261: 265-277.
- Ghaïoule D., Lumaret J., Didier R., Maatouf N., Niogret J., 2007. Évaluation 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. *Annales de la Société Entomologique de France*, 43 (1) : 1-8.
- Lamb E. G., Stewart A. C., Cahill J. F., 2012. Root system size determines plant performance following short-term soil nutrient pulses. *Plant Ecology*, 213: 1803-1812.
- Lamhamedi M. S., 2011. La masse des racines pourrait-elle être utilisée comme un critère de qualité avant la livraison des plants en site de reboisement ? *In* : Colas F., 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, 65-69.
- 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*, 9 (5) : 369-380.
- Lamhamedi M. S., Bernier P. Y., Hebert C., 1997. Effect of shoot size on the gas exchange and growth of containerized *Picea mariana* seedlings under different watering regimes. *New Forests*, 13: 209-223.
- Lamhamedi M. S., Bernier P. Y., Hebert C., Jobidon R., 1998. Physiological and growth responses of three types of containerized *Picea mariana* seedlings outplanted with and without vegetation control. *Forest Ecology and Management*, 110: 13-23.
- Lamhamedi M. S., Fecteau B., Godin L., Gingras C. H., 2006. Guide pratique de production en hors sol de plants forestiers, pastoraux et ornementaux en Tunisie. Ministère de l'Agriculture et des Ressources hydrauliques, Direction générale des forêts, République tunisienne, 114 p.
- Lamhamedi M. S., Fortin J. A., 1994. La qualité des plants forestiers : critères d'évaluations et performance dans les sites de reboisement. *In* : Abourouh M. (éd.). Actes de la première journée nationale sur les plants forestiers. Rabat, Maroc, Centre de recherche et d'expérimentation forestières, 35-49.
- Lamhamedi M. S., Renaud M., Veuilleux L., 2011. Les effets de l'augmentation de pH des substrats sur la croissance des plants forestiers produits dans les pépinières forestières. *In* : Colas F., 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, 33-45.
- Margolis H. A., Brand D. G., 1990. An ecophysiological basis for understanding plantation establishment. *Canadian Journal of Forest Research*, 20: 375-390.
- Montagnoli A., Terzaghi M., Di Lorio 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. *Ecological Research*, 27: 1015-1025.
- Muller G., Gastner M., 1971. Chemical analysis. *Neues Jahrbuch für Mineralogie - Monatshefte*, 10: 466-469.
- Nahidi A., 2007. Évaluation de la qualité des plants de chêne-liège de plaine (Forêt de la Maâmora) en relation avec le conteneur et le substrat. Mémoire de 3^e cycle, ENFI, Salé, Maroc, 62 p.
- Olsen S. R., 1954. Estimation of available phosphorous in soils by extraction with sodium bicarbonate. Washington, DC, US Department of Agriculture, 939 : 1-19.
- Peman J., Voltas J., Pelegrin G. E., 2006. Morphological and functional variability in the root system of *Quercus ilex* L. subject to confinement: consequences for afforestation. *Annals of Forest Science*, 63: 425-430.
- Pinta M., 1976. Spectrométrie d'absorption atomique. Applications à l'analyse chimique. Paris, France, Masson, 470 p.
- Tsakaldimi 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 and Soil*, 278: 85-93.
- Van Rast E., Verloo M., Demeyer A., Pauwels J. M., 1999. Manual for the Soil Chemistry and Fertility Laboratory: Analytical Methods for Soils and Plants Equipment, and Management of Consumables. Ghent, Belgium, University of Ghent, 243 p.
- Walkley A., Black C. A., 1934. An examination of the method for determining soil organic matter and a proposal modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37: 29-38.
- Zine El Abidine A., 2003. Le dépérissement des forêts au Maroc : Analyse et stratégies de lutte. *Sécheresse*, 14 (4) :18-26.
- 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. *Revue GeoEcoTrop*, 37 (2) : 157-176.
- Zine El Abidine A., Bouderrah M., Bekkour A., Lamhamedi M. S., Abbas Y., 2016a. Croissance et développement des plants de deux provenances de chêne-liège (*Quercus suber* L.) produits en pépinière dans des conteneurs de différentes profondeurs. *Forêt Méditerranéenne*, 37 (2) : 137-150.
- Zine El Abidine A., Bouderrah M., Moustahssen A., Lamhamedi M. S., 2016b. Relations hydriques et croissance de plants soumis à un déficit hydrique édaphique graduel - Cas du cèdre de l'Atlas, du pin maritime de montagne et du cyprès de l'Atlas. *Forêt Méditerranéenne*, 6 : 327-342.