

Problématique des pépinières forestières en Afrique du Nord et stratégies de développement

Mohammed S. Lamhamedi, Youssef Ammari, Bertrand Fecteau, J. André Fortin, Hank Margolis

En Afrique du Nord (Algérie, Maroc et Tunisie), la forêt a connu une forte dégradation suite aux incendies, à l'agriculture itinérante, au surpâturage et à la pression humaine grandissante à travers la succession des différentes civilisations. Cette diminution des surfaces boisées a été effectuée au profit des terres cultivées et de l'élevage. Dans de nombreuses régions de ces trois pays, la sévérité de la sécheresse épisodique a bouleversé la planification des programmes de reboisement et le mode de vie des populations. Durant les dernières décennies, en plus de la sauvegarde du patrimoine forestier,

l'Afrique du Nord a amorcé des programmes de reboisement en vue d'assurer une protection des massifs forestiers dégradés et des bassins versants, et d'espérer atteindre la productivité initiale des sites rendus presque infertiles [1-5]. Soucieux de la protection de l'environnement, de la lutte contre la désertification et de la satisfaction des besoins en produits ligneux, chaque pays a accordé une priorité au reboisement en fonction de ses moyens financiers, de l'assistance technique et des prêts octroyés pour la réalisation de projets de développement. Bien que les premiers travaux de plantation en Afrique du Nord remontent à 1870, les premiers jalons des programmes ambitieux de reboisement n'ont débuté qu'en 1960 dans le cadre des plans triennaux ou quinquennaux de développement [1-4]. Dans les trois pays, le rythme annuel de plantation fixé par ces plans n'a jamais été atteint malgré l'installation de nouvelles pépinières. Différentes techniques de production de plants forestiers ont été développées et adaptées selon les caractéristiques spécifiques à chaque pays. Malheureusement, ces techniques de production en pépinières forestières remontent à plusieurs décennies et n'ont pas connu d'amélioration majeure depuis leur origine. Dans la politique de reboisement de chacun des pays du Maghreb, l'accent a été mis beaucoup plus sur l'installation des arborescences pour faciliter le choix des essences à

reboiser et sur les travaux mécanisés de préparation du sol que sur l'efficacité des techniques de production. En plus du problème du substrat et des techniques culturales, la qualité actuelle des plants est parmi les principales causes des échecs de reboisement. En effet, l'absence de critères d'évaluation d'ordre morphologique et physiologique des plants et le manque de normes spécifiques à chaque essence constituent un frein majeur à l'amélioration des techniques de production et à leur généralisation dans chaque pays. L'utilisation des plants de qualité diminuera non seulement les pertes d'argent occasionnées par les regarnis mais réduira également le délai de récolte du bois.

Généralement, la problématique des pépinières forestières est presque similaire dans tous les pays en développement. Une connaissance approfondie des contraintes techniques et de gestion au niveau des pépinières nous permet de mieux cibler les moyens à mettre en œuvre pour assurer une production de plants de qualité en vue de satisfaire la demande en produits ligneux et de mieux protéger l'environnement. L'objectif de cet article est :

- de faire une synthèse de la problématique des pépinières forestières en Afrique du Nord ;
- de présenter des stratégies d'orientation qui donnent d'excellents résultats en matière de modernisation du secteur des pépinières forestières.

M. S. Lamhamedi : Ministère des Ressources naturelles, Forêt Québec, Direction de la recherche forestière, 2700, rue Einstein, Sainte-Foy, Québec, Canada G1P 3W8. <mohammed.lamhamedi@mrn.gouv.qc.ca>

Y. Ammari : Institut national de recherche en Génie rural, Eaux et Forêts, BP 10, 2080 Ariana, Tunis, Tunisie.

B. Fecteau : Pampev Inc. 662, Rang Saint-François, Saint-Louis-de-Blandford, Québec, Canada G0Z 1B0.

J. A. Fortin : 4435, Des Cimes, Neufchâtel, Québec, Canada G2A 1M2.

H. Margolis : Centre de recherche en Biologie forestière, Faculté de foresterie et de géomatique, Pavillon Abitibi-Price, Université Laval, Sainte-Foy, Québec, Canada G1K 7P4.

Tirés à part : M.S. Lamhamedi

Contraintes techniques majeures des pépinières forestières conventionnelles

De la production des plants à racines nues à l'utilisation des conteneurs

En Afrique du Nord, la production des plants forestiers dans les pépinières forestières a commencé tout d'abord avec le mode de production des plants à racines nues. Ce mode de production a été pratiqué généralement dans les pépinières volantes pour répondre uniquement aux besoins des programmes de reboisement prospectifs à moyen terme [5]. Ces pépinières restent fonctionnelles généralement pour une durée de 3 à 5 ans. En plus de l'irrégularité des précipitations et de la sévérité de la saison sèche, les forestiers se sont rendu compte que l'utilisation des plants à racines nues ne peut être retenue comme technique de production à grande échelle à cause des exigences en matière de production, de conservation et du maintien de la qualité des plants durant les différentes opérations (transport, stockage en site de reboisement, manutention...). Par exemple, en zone méditerranéenne, les températures relativement élevées durant certaines journées de plantation peuvent aggraver les dommages subis par le système racinaire des plants à racines nues lors de ces différentes opérations. En effet, une exposition des plants à racines nues au soleil pour une durée de 10 min peut entraîner une diminution du taux de survie de 20 % et un ralentissement de la croissance de 75 % au bout de 5 ans [5]. En Oregon, état de l'Ouest des États-Unis, où le climat est presque similaire à celui de la région méditerranéenne, l'exposition des plants à racines nues de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco lors d'un été sec a entraîné une diminution du taux de leur survie en site de plantation [6]. Malgré l'importance du mode de production des plants à racines nues à l'échelle mondiale [7], en Afrique du Nord, ce mode a été remplacé vers les années 50 par les pots en argile cuite,

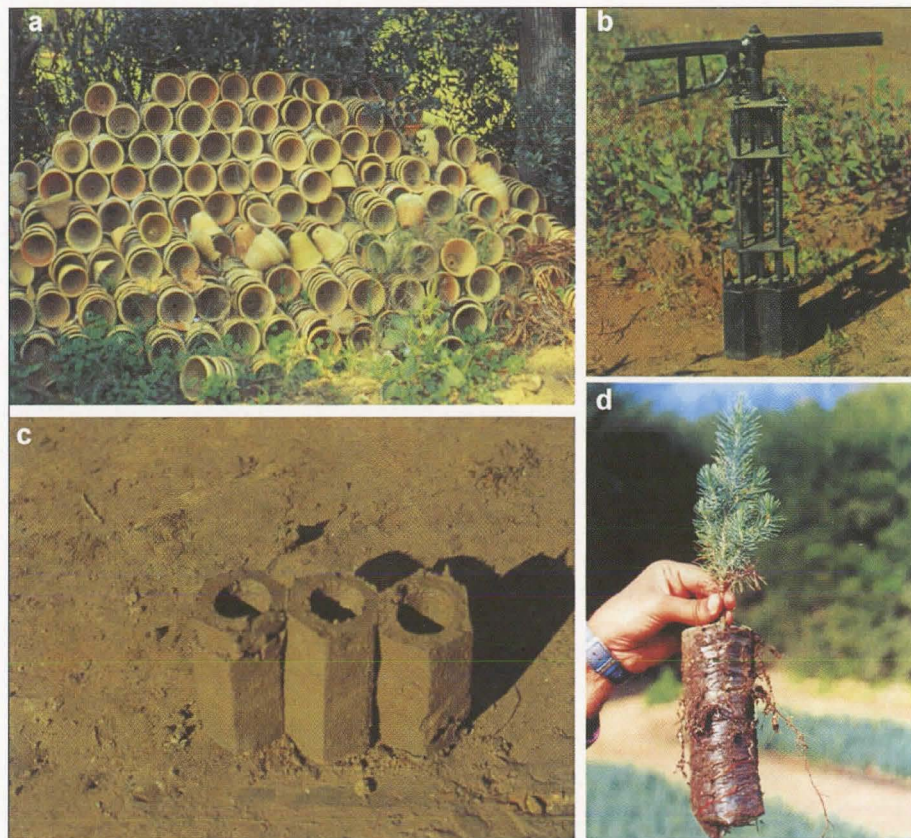


Photo 1 a. Pots en argile cuite utilisés au Maroc et en Tunisie avant les années 60 pour la production à grande échelle des plants forestiers. **b.** Presse-motte utilisé pour la fabrication de deux mottes à la fois. **c.** Mottes ayant la forme hexagonale possédant une cavité conique dans laquelle les graines seront semées. Ce type de cavité continue d'être utilisé uniquement au Maroc et la moitié de la production annuelle est assurée par cette technique. **d.** Plant de pin pignon produit en sachet de polyéthylène perforé en plastique montrant la présence d'enracinement secondaire à l'extérieur du sachet. Ce type de racines se dessèche rapidement et devient non fonctionnelle (clichés Lamhamedi).

Photo 1 a. Cured clay pots used in Morocco and Tunisia before 1960 for the large-scale production of forest tree seedlings. **b.** Root-plug-press used to make two root plugs at a time. **c.** Root plugs having a hexagonal shape with a conical cavity into which seeds will be sown. This type of cavity continues to be used only in Morocco and one-half of the annual production uses this technique. **d.** Pignon pine plant in a perforated polyethylene container (i.e., sack) showing the presence of secondary rooting outside of the container. These types of roots dry rapidly and become non-functional.

les mottes moulées et le sachet de polyéthylène.

Les pots en argile cuite ont été utilisés jusqu'au début des années 60 pour assurer une bonne partie de la production des plants au Maroc et en Tunisie (photo 1a). Cette technique de culture des plants en pots d'argile cuite comporte plusieurs inconvénients majeurs à savoir le coût des pots, le volume limité de croissance des racines, la formation du chignon et la fragilité des pots durant leur manutention. Lorsque les racines traversent le trou du pot, l'ouvrier est obligé de secouer le pot pour extirper le

plant entraînant ainsi une désagrégation de la motte.

La production des plants en motte moulée reste un mode de production unique au Maroc, utilisé depuis 1950, dans les pépinières forestières [5]. La moitié de la production actuelle au Maroc, en plants forestiers, est assurée par cette technique [8]. Les mottes sont constituées par un mélange spécifique (sable, argile, paille et fumier) et façonnées par des presse-mottes (photo 1b,c). Après nivellement, les mottes sont alignées sur les planches et ne sont jamais enfouies afin d'éviter l'asphyxie des racines. Les alvéoles sont

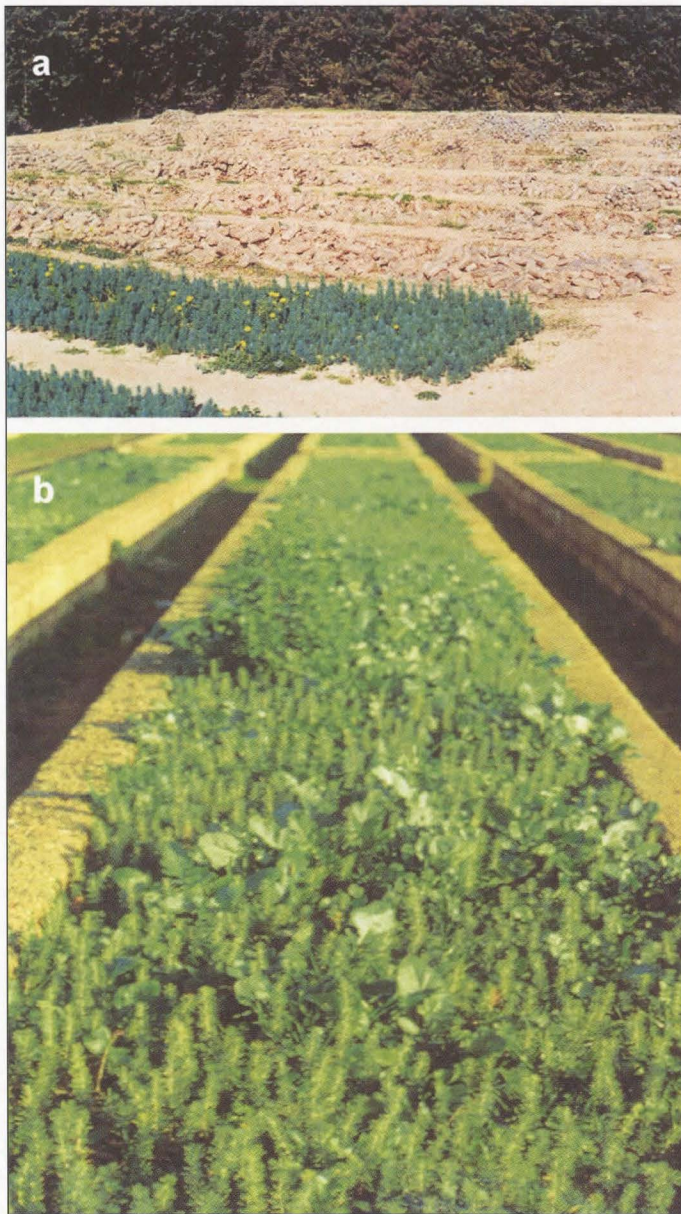


Photo 2 a. Plants du pin d'Alep produits en sachets de polyéthylène placés dans des planches creusées en contact direct avec le sol en l'absence de tout système de drainage. Noter l'occupation faible et les pertes importantes en plants forestiers dues à différents facteurs : germination, champignons, hydromorphie, etc. Dans certaines pépinières, ces sachets vides sont réutilisés directement ou après avoir mélangé et tamisé le substrat (pépinière du Sers, Tunisie). **b.** Planches (ou bâches) cimentées dotées d'un système de drainage. Remarquer les plants du cèdre de l'Atlas envahis par les mauvaises herbes (Pépinière de Ain Leuh, Maroc) (clichés Lamhamedi).

Photo 2 a. Aleppo pine plants produced in polyethylene containers placed into the soil and having no drainage system. Note the large loss of seedlings to various factors : germination, pathogenic fungi, drying, etc. In some nurseries, the empty containers are re-used immediately or after having the substrate mixed and sifted (Sers nursery, Tunisia). **b.** Cement structure with drainage system. Note the Atlas cedar plants invaded by weeds (Ain Leuh nursery, Morocco).

par la suite remplies avec du sable ou du terreau de charbonnière très fin avant de semer les graines. Ces mottes ont un inconvénient majeur, à savoir la croissance des racines à travers plusieurs mottes et leur poids énorme lors du transport. Lors de l'enlèvement et de l'individualisation de ces plants, l'effritement des mottes rend les racines plus exposées aux différents stress abiotiques et biotiques. Cette technique reste attrayante lorsqu'on compare les modes de production en termes de coût de production. En revanche, jusqu'à présent, les calculs de coût de production des plants forestiers ne tiennent pas compte

de la qualité des plants, des dépenses engendrées lors des regarnis et du gain de productivité induit par l'utilisation des plants de meilleure qualité en site de reboisement.

Ces modes de production ont cédé la place au sachet de polyéthylène perforé (*photo 1d*) dont l'utilisation à grande échelle dans les pépinières a commencé vers les années 60 et est actuellement le mode de production le plus utilisé au monde [7, 9]. Les dimensions du sachet sont déterminées par la disponibilité sur le marché et le système racinaire de l'essence à produire. Dans la majorité des pays, les sachets de polyéthylène sont

placés dans des planches creusées en contact direct avec le sol, en absence de tout système de drainage (*photo 2a*), ce qui accentue les problèmes d'accumulation d'eau (hydromorphie) et d'asphyxie des racines lors des pluies torrentielles ou des arrosages excessifs. L'hydromorphie prolongée peut engendrer des pertes importantes de plants forestiers. Ce système de culture favorise aussi le développement et la persistance des mauvaises herbes, malgré le désherbage, manuel ou chimique. Pour pallier ces problèmes, certaines pépinières ont opté pour la construction de planches cimentées en vue d'assurer un bon drainage et de limiter l'envahissement des plants forestiers par les mauvaises herbes (*photo 2b*).

Des efforts ont été déployés en vue de corriger le problème de cernage racinaire et celui des déformations racinaires. Plusieurs types de conteneurs ou de récipients (forme, nombre et volume des alvéoles) ont été testés dans certaines pépinières marocaines à titre expérimental ou utilisés à grande échelle dans des pépinières pilotes en Tunisie. Contrairement au sachet non recyclable et non biodégradable, les conteneurs sont réutilisables et ont une espérance de vie qui peut dépasser 10 ans. La forme de ces conteneurs leur permet de s'emboîter les uns dans les autres, ce qui diminue l'espace d'entreposage. Malheureusement, ces améliorations ne peuvent pas assurer un changement appréciable de la qualité des plants, étant donné qu'elles restent limitées à une seule étape de la filière de production. Une telle qualité ne peut être atteinte que si l'investissement est global, permettant de transformer les pépinières conventionnelles en pépinières modernes.

Substrat de croissance

L'utilisation du substrat non standard est une des contraintes majeures qui affectent la qualité des plants forestiers. En effet, la qualité du substrat est variable au sein de la même pépinière en fonction de l'endroit d'approvisionnement. En milieu forestier, les sachets de polyéthylène sont remplis généralement avec du terreau forestier, humus bien décomposé, ramassé sous des peuplements ou dans des charbonnières et mélangé avec du sable et parfois avec du fumier. Les proportions et la nature du substrat varient d'une pépinière à l'autre selon la disponibilité des matériaux dans chaque zone. Le terreau est prélevé dans des sites



Photo 3. Plant de pin maritime produit en sachet de polyéthylène perforé rempli avec du substrat à base de terreau forestier et montrant une chlorose des jeunes aiguilles indiquant une déficience en fer après plantation (Forêt de Mamora, Maroc) (cliché Lamhamedi).

Photo 3. Maritime pine seedlings produced in perforated polyethylene containers filled with forest soil substrate and showing chlorosis of young needles indicating an iron deficiency after planting (Mamora forest, Morocco).

où il y a généralement une accumulation de la matière organique ; son ramassage enlève la couche fertile et occasionne des blessures aux racines des arbres, ce qui diminuera à long terme la productivité de ces peuplements.

L'utilisation de terreau forestier est le plus souvent la source d'agents pathogènes, de nématodes, de virus et de mauvaises herbes, malgré l'introduction bénéfique possible de champignons mycorhiziens. Dans certaines pépinières, les dégâts occasionnés par les champignons pathogènes peuvent dépasser 80 % [10]. Après mélange du terreau avec d'autres constituants (sable, fumier...), le substrat obtenu présente généralement plusieurs inconvénients : densité élevée (substrat lourd et compact), faible aération, faible capacité d'échange cationique et faible capacité de rétention en eau. À la fin du cycle de production et en absence de programmes de fertilisation, le statut nutritionnel du

plant forestier est limité par la fertilité du substrat lors de l'empotage, aggravé parfois par l'absence d'un désherbage manuel ou chimique en pépinière au moment opportun. Le développement rapide du système racinaire des mauvaises herbes se traduit par une grande occupation du volume du sachet de polyéthylène par rapport aux racines des plants forestiers, ce qui contribue à l'épuisement rapide des éléments nutritifs contenus dans le substrat et peut entraîner l'apparition précoce des symptômes de carence chez les plants forestiers en site de reboisement après plantation (photo 3). Le problème de nutrition minérale peut être aggravé, surtout dans les pépinières soumises à un climat semi-aride et ne possédant pas d'ombrière. En effet, les températures élevées (> 35 °C) du substrat peuvent inhiber la nitrification, réduire la croissance des racines et affecter négativement la nutrition minérale des plants [11].

Dans certaines pépinières, l'approvisionnement en substrat reste un problème épineux. Face à cette situation, les pépiniéristes réutilisent les sachets remplis avec du substrat et dans lesquels les graines n'ont pas germé durant la première campagne de production. Un tel substrat réutilisé ne peut que perpétuer la présence des agents pathogènes dans les pépinières et produire des plants de mauvaise qualité.

En l'absence de massifs forestiers proches des pépinières, les pépiniéristes utilisent généralement des sols agricoles (argile, limons) mélangés avec du sable et du fumier. La texture fine et la compaction élevée de ces substrats favorisent souvent une croissance superficielle des racines et empêchent la croissance racinaire homogène à travers toute la motte. La pénétration des racines dans les substrats compacts est variable selon la vigueur du système racinaire [12]. Nos observations ont révélé que la densité de ces substrats peut dépasser 1,8 g/cm³ [13]. L'absence d'aération de ces substrats engendre une mortalité des racines précédée généralement par des attaques de champignons pathogènes comme le *Phytophthora* [10, 14].

Ainsi, l'utilisation d'un substrat non standard, variable d'une pépinière à l'autre pour la même essence et au sein de la même pépinière d'une année à l'autre, constitue un frein majeur à l'amélioration et à la généralisation des techniques de production de plants dans les pépinières forestières.

Déformations racinaires induites par le sachet de polyéthylène

L'utilisation du sachet de polyéthylène favorise toujours les déformations racinaires [7-9, 15-17], faute de parois rigides et de rainures pour diriger et orienter les racines en cours de croissance, ce qui leur permet de percer le sachet et de s'enrouler (photo 4a). Cet enroulement, connu sous le vocable « chignon », est favorisé aussi par le substrat extrêmement compact dans lequel l'impédance mécanique et l'oxygène sont parmi les facteurs qui limitent la croissance des racines [18].

Lors de l'enlèvement des plants des planches, nous avons observé que les racines d'un même plant peuvent se développer et pénétrer par les trous perforés dans plusieurs sachets. L'individualisation de ces plants leur fait perdre les racines blanches (photo 1d) nécessaires à l'absorption de l'eau et des éléments nutritifs, surtout durant la phase d'installation en site de reboisement. Le manque de rigidité chez le sachet ne peut conférer aux racines une bonne protection contre les différents chocs lors de la manutention des plants. Les déformations racinaires entravent la translocation des produits de la photosynthèse indispensables à la croissance de nouvelles racines [19-21]. Le recours au repiquage pour augmenter le taux d'occupation des sachets, à un stade de croissance avancé des plants, accentue la présence des déformations racinaires qui deviennent irréversibles, surtout après lignification, à cause de l'absence de rainures et d'un système de cernage des racines (photo 4c). La présence de telles déformations peut affecter la stabilité des arbres et les rendre plus susceptibles aux différents stress environnementaux, même à un âge avancé (photo 4b).

Semences forestières, qualité des plants et absence de normes

La qualité des graines est considérée comme un des facteurs principaux affectant la qualité des plants. Malgré les récentes tentatives d'améliorer le secteur des semences forestières, les centres de graines ne peuvent garantir une qualité des semences qui respecte les normes internationales. La récolte des graines est

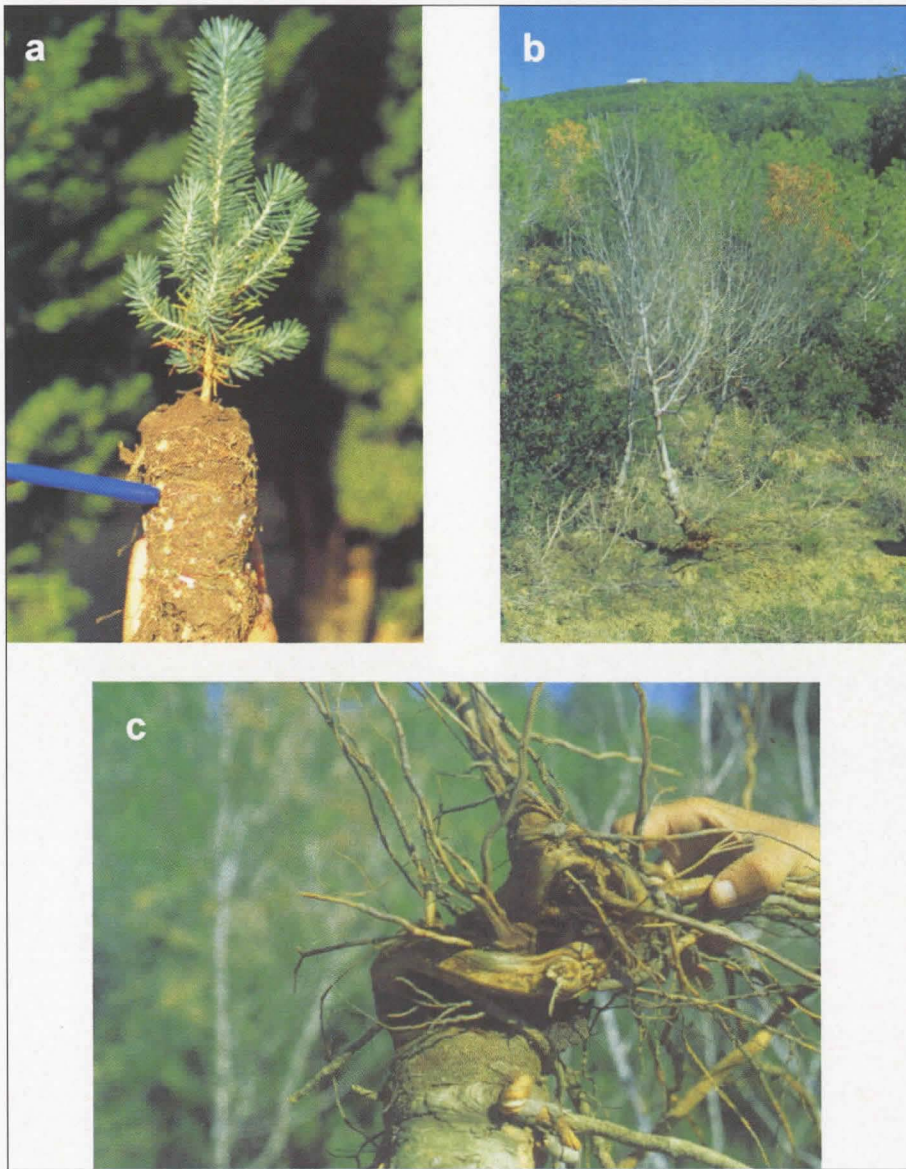


Photo 4 a. Plant de pin pignon âgé de 7 mois montrant une spiralisation des racines. **b.** Mort progressive sur pied à un âge avancé (14 ans) de presque tout un peuplement de pin d'Alep possédant des déformations racinaires causées principalement par le mode d'élevage en sachet de polyéthylène. **c.** Déformations racinaires et absence de pivot chez le pin d'Alep dont les effets ne peuvent être observés qu'à un âge avancé. L'effet de cette spiralisation sur la physiologie et la croissance devient accentué sous l'effet de l'interaction de différents stress biotiques et abiotiques (site de Oued Laâbid préparé mécaniquement ; Takelsa, Tunisie) (*clichés Lamhamedi*).

Photo 4 a. Seven month old pignon pine plant showing root spiralisation. **b.** Progressive mortality of almost all of a 14 year old Aleppo pine plantation having root deformations caused principally by the method of culture in polyethylene containers. **c.** Root deformations and the absence of a tap root in Aleppo pine seedlings for which the ultimate effects can not be observed until a much later age. The effect of this spiralisaton on the physiology and growth becomes accentuated when there is an interaction with other biotic and abiotic stresses (Oued Laâbid site prepared mechanically ; Takelsa, Tunisia).

laissée la plupart du temps à l'initiative du technicien forestier qui, face à des besoins trop importants en graines et limité par le temps et les moyens, choisira des graines de moindre qualité gé-

netique. Actuellement, au Maroc, un effort a été mis sur la création de centres de semences régionaux avec un début d'élaboration de programmes de sélection génétique.

En plus des problèmes liés au substrat et à l'utilisation du sachet, la qualité des plants est parmi les principales causes des échecs des reboisements. Les techniques de production et de gestion varient d'une pépinière à l'autre et rendent l'amélioration des techniques de production et l'harmonisation des normes de qualité fort difficiles. Les plants utilisés dans les programmes de reboisement ne sont jamais triés selon des normes de qualité spécifiques à chaque essence. L'utilisation des lots de plants de qualité hétérogène ne pourrait qu'augmenter le coût d'installation du peuplement (regarnis et entretien) et rendre difficile la synchronisation des travaux sylvicoles durant les différentes phases de croissance. La connaissance préalable des normes de qualité spécifiques à chaque essence permettrait au reboiseur de prédire, dans une certaine mesure, la performance des plants en site de reboisement.

La qualité des plants est affectée aussi durant les différentes phases de la filière de reboisement (pépinière, transport, stockage et site de plantation). Par exemple, l'utilisation de moyens de transport à ciel ouvert et l'exposition directe des plants au soleil durant leur stockage en site de reboisement avant la plantation peuvent engendrer un stress hydrique chez ces plants, en accentuant ainsi le choc de transplantation. Les plants sont généralement transportés en vrac (*photo 5*) ou arrangés dans des caisses en bois ou en plastique. Ces caisses servent aussi au transport des légumes et d'autres produits agricoles et leur désinfection n'est généralement pas pratiquée avant le transport des plants. Ces caisses constituent un foyer d'agents pathogènes qui peuvent occasionner d'importants dégâts, surtout chez les plants ayant subi des blessures.

Typologie des pépinières et contraintes de gestion

Taille, vocation et gestion des pépinières

En Afrique du Nord, la taille et la vocation des pépinières sont intimement liées

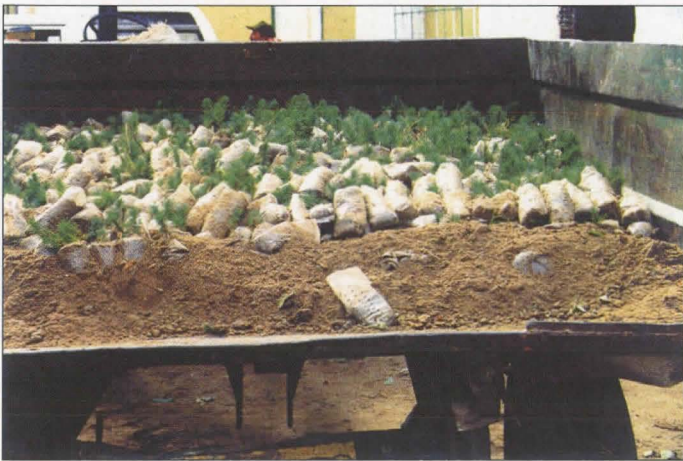


Photo 5. Transport en vrac des plants dans des conditions non réfrigérées. Ce type de transport augmente les blessures et expose les plants au stress hydrique (cliché Lamhamedi).

Photo 5. Bulk transport of tree seedlings in unrefrigerated conditions. This type of transport increases injury and exposes the seedlings to water stress.



Photo 6. Vue aérienne d'une pépinière pilote forestière moderne dotée d'une ombrière (pépinière pilote du Kef, Tunisie) (cliché Lamhamedi).

Photo 6. Aerial view of a modern pilot forest tree nursery having a shade cover (Kef pilot nursery, Tunisia).

au volume de production assigné à chacune d'entre elles. Les pépinières conventionnelles sont les plus répandues avec une capacité de production variant entre 1,5 et 3 millions, pour subvenir partiellement aux besoins des programmes de reboisement de chaque pays en plants forestiers, horticoles, fruitiers et pastoraux [4, 8, 22]. La quasi-totalité de ces pépinières sont gouvernementales et leur nombre est très élevé (104, 87 et 99 pépinières forestières respectivement en Algérie, au Maroc et en Tunisie) [4, 8, 22]. La superficie totale de chaque pépinière varie entre 1,5 et 50 ha, avec un taux d'occupation qui dépasse rarement 75 %. Ces pépinières ont été généralement créées pour répondre aux besoins immédiats des projets régionaux de reboisement et, en même temps, pour garantir un emploi à une partie de la population riveraine et freiner l'exode rural, surtout pendant les années de sécheresse.

Actuellement, la Tunisie a mis l'accent sur l'installation de pépinières modernes (photo 6) avec introduction de nouvelles

technologies de production (ombrière, conteneurs, compost, irrigation automatique, mycorhization, fertilisation et informatisation des données) et de gestion des cultures [13, 23] avec une capacité de production d'un million de plants par pépinière. Un des objectifs de cette nouvelle génération de pépinières est de produire des plants de bonne qualité tout en respectant certaines normes morphologiques et physiologiques. À la fin de la première campagne de production (1995-1996), les plants des différentes essences (pin pignon, pin d'Alep, cyprès, eucalyptus, casuarina, chêne liège, médicago, caroubier...) produites dans les trois pépinières pilotes étaient de bonne qualité. La généralisation de cette modernisation commence à prendre de l'ampleur et la stratégie de production de plants de qualité, développée en Tunisie, pourra être utilisée par d'autres pays du bassin méditerranéen et par ceux qui aspirent à moderniser le secteur des pépinières.

Malgré l'introduction de certaines techniques modernes de production de

plants, la gestion des pépinières mérite un changement en profondeur. Le problème majeur est l'absence de techniciens ou d'ingénieurs spécialisés qui se consacrent exclusivement aux travaux de la pépinière. Les responsables actuels des pépinières sont obligés de veiller à l'exécution de la majorité des travaux forestiers (chantiers de reboisement, aménagement, éclaircie, incendies, délits, ouverture des pistes, parcours, etc.) aux dépens de ceux des pépinières. Le rendement de la main-d'œuvre reste faible, car elle est non expérimentée, souvent âgée et non qualifiée, le travail en pépinière ayant pour objectif d'aider cette main-d'œuvre défavorisée à générer un revenu d'appoint. En plus, les pépinières ne sont pas dotées d'un fonds de roulement nécessaire à l'achat immédiat des pièces de rechange. Le déphasage entre les campagnes de reboisement et financières freine énormément les travaux en pépinière, car c'est au moment où le pépiniériste a besoin de disponibilité de crédits (janvier et février) que se clôture souvent l'année financière.

Infrastructures et ressources

Abri et ombrières

Malgré l'importance de l'insolation dans les zones semi-arides et de la sensibilité des jeunes plantules au stress thermique, l'utilisation des ombrières n'est pas généralisée dans les pépinières forestières. Le système d'ombrière utilisé reste rudimentaire et peut atténuer plus de 50 % de l'intensité de lumière. Il existe deux types d'ombrières :

- les ombrières hautes et fixes, constituées par des poteaux supportant une charpente légère sur laquelle sont déployés des clayonnages de roseaux rigides ou souples ; ce type d'ombrière non rétractable est opaque et affecte la croissance des plants ;
- les ombrières basses et mobiles dont la construction nécessite des petites charpentes couvertes avec des branches de différentes essences forestières ; elles sont utilisées pour protéger les jeunes plants après leur repiquage ou contre la dessiccation des jeunes plants après germination.

Ressources en eau et techniques d'arrosage

La qualité et la quantité de l'eau sont des facteurs importants à considérer lors du choix du site, surtout pour les pépinières des pays situés dans les zones semi-arides et arides. L'eau utilisée peut provenir d'une source d'eau souterraine (eau de puits) ou de sources superficielles (rivières, lacs, seguias et barrages). La qualité de l'eau peut varier en fonction de la source, de la saison et des pratiques agricoles (fertilisation et utilisation des produits chimiques). En Tunisie, nos observations montrent que, en zones agricoles, les concentrations en nitrates dans les puits, utilisés comme source d'eau dans les pépinières forestières, dépassent la norme recommandée de 40 ppm. En plus de l'insuffisance du débit d'eau en été, les pépinières des zones sèches se distinguent par une eau basique ($\text{pH} > 7$), chargée en sels (conductivité électrique $> 3\ 000\ \mu\text{ohm/cm}$), en calcium et en sulfates [13]. Un suivi régulier de la qualité de l'eau devrait être effectué plusieurs fois par année afin de mieux optimiser les programmes de fertilisation lorsqu'ils sont appliqués.

Le système d'arrosage le plus utilisé dans les pépinières reste traditionnel et consiste en l'utilisation manuelle d'arrosoirs. Cette technique est très exigeante en main-d'œuvre et ne permet pas l'uniformité d'arrosage. L'irrigation par aspersion n'est utilisée que lorsque la quantité de plants produite est importante. Dans les pays du Maghreb, l'irrigation par brumisation est réservée aux programmes de bouturage et de sélection clonale, surtout chez les eucalyptus.

Dans certaines zones, les sécheresses répétées ont engendré une diminution considérable des réserves en eau dans les nappes phréatiques entraînant ainsi une diminution considérable de la quantité de plants produits. Pour sauver une partie de la production, les pépiniéristes recourent à l'utilisation de l'eau de ville dont les caractéristiques physicochimiques sont généralement défavorables à la production des plants. Un tel recours montre clairement que, dans l'avenir, le choix du site de la pépinière devrait tenir compte de la sévérité des sécheresses épisodiques. Le maintien de ce genre de pépinières en fonctionnement à long terme engendre une augmentation du coût de production.

Stratégies de développement

Le Maroc a mis l'accent sur l'élaboration d'un nouveau plan directeur de reboisement [23] en espérant commencer la modernisation du secteur des pépinières forestières dans les années à venir. En revanche, l'Algérie a donné une priorité à la préparation mécanique des sols dans les travaux de reboisement tout en accusant un retard dans l'amélioration de la production de plants en pépinière. Malgré les efforts déployés en Algérie et au Maroc, la Tunisie reste le pays le plus avancé en termes de modernisation complète du secteur des pépinières forestières. Les grandes orientations de l'approche tunisienne ont donné des résultats fort encourageants par l'introduction de nouvelles technologies de production de plants (ombrière, conteneurs, compost, fertilisation et gestion informatique) et de gestion des pépinières respectueuses de l'environnement [13, 22, 24, 25]. Les stratégies énumérées ne sont pas exhaustives mais décrivent les types d'actions conçus dans un cadre d'entente avec les différents intervenants, tout en tenant compte des évolutions observées en matière d'environnement et de développement socio-économique.

Classification et réduction du nombre de pépinières

La Tunisie a choisi dans une première phase de réduire le nombre de pépinières, en tenant compte des contraintes majeures et spécifiques de chacune des 99 pépinières (débit d'eau, qualité, électrification, disponibilité de la biomasse compostable, main-d'œuvre, frais de gestion, etc.), de la capacité de production et des possibilités d'extension. Sur la base d'une enquête réalisée auprès de toutes les pépinières, une classification préliminaire en catégories a été adoptée en vue d'assurer une bonne répartition spatiale et de favoriser l'émergence de pépinières principales. La même approche a été récemment utilisée au Maroc [8]. Cette classification était nécessaire pour déterminer le degré d'investissement à réaliser dans l'avenir, l'objectif final étant d'identifier les pépinières susceptibles d'être modernisées, en

vue d'assurer les besoins du pays en plants forestiers, pastoraux et fruitiers. Les pépinières ont été classées en trois catégories : A : pépinières de première importance sans contraintes dont la réhabilitation à court terme est obligatoire ; B : pépinières de seconde importance, mais dont l'utilisation est certaine dans l'avenir et nécessitant une réhabilitation à moyen terme ; C : pépinières à contraintes majeures et ayant des frais de gestion élevés, dont la fermeture se fera au fur et à mesure de la progression des travaux de modernisation des pépinières des deux catégories précédentes.

Modernisation progressive des pépinières forestières

La deuxième étape consiste à moderniser progressivement les pépinières forestières afin de permettre aux techniciens pépiniéristes de mieux maîtriser les nouvelles techniques de production et de gestion. Cette modernisation se fait selon un rythme satisfaisant et bien échelonné dans le temps. La première phase de modernisation (1995-1997) a consisté à l'installation dans trois arrondissements (Nabeul, Kef & Béja), dans le cadre du projet de développement forestier (PDF II), de trois pépinières pilotes représentatives des régions forestières par excellence et situées dans les principaux étages bioclimatiques. Il s'agissait d'établir des solutions innovantes à l'échelle opérationnelle, adaptées aux conditions locales de la Tunisie, tout en assurant une meilleure qualité des plants produits. Un projet de recherche-développement de grande envergure a été élaboré en vue de mieux cerner la problématique des pépinières forestières, l'opération de compostage, les propriétés physicochimiques des substrats et l'évaluation de la qualité des plants en pépinières et en site de reboisement, le problème majeur étant celui du substrat.

Chaque pépinière pilote est dotée d'une ombrière d'une superficie de 0,3 ha pouvant assurer une production de 500 000 plants en conteneurs (*photo 6*). La superficie de chaque pépinière, réservée à la production de plants forestiers, est divisée en cinq sections. Dans chaque section, la toile de l'ombrière est rétractable (*photo 7*) afin d'offrir un maximum de flexibilité en fonction des exigences de chaque essence concernant surtout la densité du flux photonique utile à la photosynthèse et, en même temps, pour



Photo 7. Toile de l'ombrière rétractable pour favoriser l'endurcissement des plants avant plantation. L'irrigation est assurée par des asperseurs de type Rain Jet # 66U possédant un patron d'arrosage carré. Les récipients sont déposés sur des tables de culture constituées par des briques de ciment sur lesquelles sont disposées des cornières en acier galvanisé. Remarquer l'homogénéité et la qualité des plants produits (pépinière pilote de Oued El Bir, Tunisie) (cliché Lamhamedi).

Photo 7. Retractable shade cover for stimulating the hardening of seedlings before planting. The irrigation is conducted by Rain Jet # 66U aspirators having a square pattern of water dispersal. The containers are placed on tables made of cement bricks for which the corners are made of galvanized steel. Note the uniformity and the quality of the plants produced (Oued El Bir pilot nursery, Tunisia).



Photo 8. La fertilisation est assurée à l'aide de deux injecteurs de type « Dosatron » installés en parallèle avec la conduite principale d'irrigation. Le système est hydraulique et autonome et ne nécessite pas une installation électrique. Le taux d'injection de la solution fertilisante peut être ajusté entre 0,2 et 2 % (pépinière pilote de Oued El Bir, Tunisie) (cliché Lamhamedi).

Photo 8. Fertilisation is ensured by two Dosatron injectors installed parallel to the main irrigation tube. The system is hydraulic and independent and does not require electricity. The injection rate of the fertiliser solution can be adjusted between 0.2 and 2 % (Oued El Bir pilot nursery, Tunisia).

endurcir et préconditionner les plants, avant leur livraison, aux différents stress environnementaux. La structure est constituée en tubes d'acier galvanisé, à haute teneur en zinc, ancrés dans le béton et consolidés par un réseau de câbles d'acier afin d'obtenir une bonne résistance au vent. L'ombrière est placée à une hauteur de 3 mètres pour faciliter la circulation de l'air et des engins. Le fil constituant l'ombrière est à base de polyéthylène, d'une densité de 70 g/m², résistant aux ultraviolets. L'intensité d'ombrage est de 50 % afin de maintenir de bonnes conditions environnementales (humidité relative de l'air, température du substrat et de l'air) pour la croissance des plants.

Le réseau de pompage et d'irrigation de chaque pépinière pilote est alimenté par un réservoir d'eau doté d'une électropompe d'une puissance de 7,5 CV. La distribution de l'eau est assurée par un système de tuyaux en PVC. L'irrigation des plants est effectuée par des asperseurs de type Rain Jet # 66U possédant un patron d'arrosage carré (7,3 m x 7,3 m) et fonctionnent à une pression de 138 kPa et avec un débit de 16 l/min/asperseur (photo 7). Le coefficient d'uniformité d'irrigation est de 80 %. L'irrigation dans chaque section est contrôlée par un programmeur qui peut opérer manuellement ou automatiquement.

La fertilisation est assurée à l'aide de deux injecteurs de type « Dosatron » installés en parallèle avec la conduite principale d'irrigation (photo 8). Le système est hydraulique et autonome et ne nécessite pas une installation électrique. Ces injecteurs sont des pompes hydrauliques qui fonctionnent à une pression de 48 kPa. Le taux d'injection de la solution fertilisante peut être ajusté entre 0,2 et 2 %. Par la suite, la filtration de la solution fertilisante est assurée par deux filtres installés en parallèle pour éviter le colmatage des asperseurs. Des programmes de fertilisation spécifiques à chaque essence ont été déterminés en ajustant les applications en fonction de la croissance des plants [13, 26].

Les plants sont cultivés sur des tables surélevées de 15 cm pour favoriser le cerneage aérien des racines en contact direct avec l'air, et de garder en même temps une humidité relative suffisante pour ne pas induire un dessèchement des racines au niveau de la partie inférieure des différentes cavités. Ces tables sont construites à l'aide de briques de ciment



Photo 9. Plant de *Pinus halepensis* (début d'endurcissement) de bonne qualité possédant un système racinaire bien développé avec une bonne cohésion de la motte. Remarquer l'absence d'enroulement racinaire (pépinière pilote de Oued El Bir, Tunisie) (cliché Lamhamedi).

Photo 9. Good quality *Pinus halepensis* seedlings (beginning of the hardening stage) having a well-developed root system with good cohesion of the root plug. Note the absence of root spiraling (Oued El Bir pilot nursery, Tunisia).

sur lesquelles sont disposées des cornières en acier galvanisé (photo 7).

Le conteneur utilisé possède 15 cavités (410 cm³/cavité) de culture et ne nécessite aucun support ou bac pour être déposé sur le système de surélévation (photo 7). Il est fabriqué en polystyrène de haute densité de couleur noir, stabilisé contre la dégradation par les ultraviolets. Le récipient a respectivement pour longueur, largeur et hauteur 36, 22 et 16 cm. Le fond de chaque cavité est ouvert pour permettre l'autocernage des racines et ajouré à la base pour retenir le substrat. Des rainures verticales orientent les racines vers le bas de l'alvéole et préviennent les déformations racinaires (photo 9). La forme légèrement conique des cavités rend les conteneurs emboîtables les uns dans les autres pour minimiser l'espace d'entreposage.

Pour pallier les inconvénients du substrat « terreau » actuel, les matériaux issus de

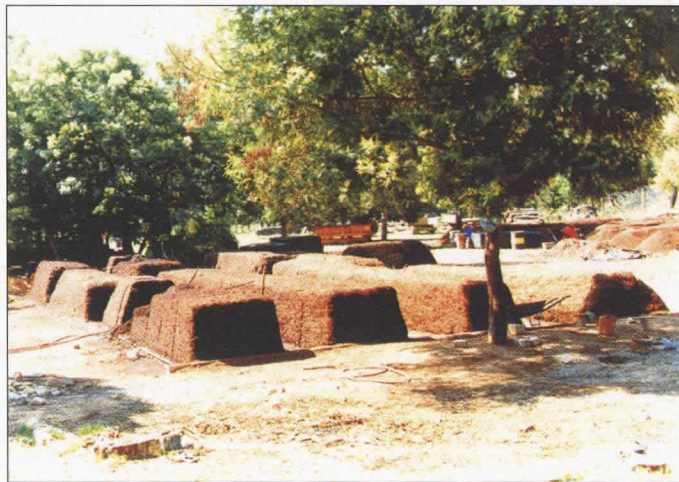


Photo 10. Vue générale de l'aire de compostage (pépinière pilote de Ouechtata, Tunisie) (cliché Lamhamedi).

Photo 10. General view of composting area (Ouechtata pilot nursery, Tunisia).

compostage de la matière verte à base des branches d'acacia du maquis ainsi que des écorces de pins ont été utilisés (photo 10), en mélange avec d'autres matériaux locaux, dans la constitution du substrat standard [13, 24]. Ces déchets sylvicoles ont été broyés en vue de faciliter la dégradation des composés celluloseux et, en même temps, pour réduire la durée de compostage. Pour bien réussir le compostage de la matière verte, la biomasse foliaire devrait dépasser celle de la matière ligneuse afin d'avoir un rapport C/N variant entre 30 et 35. Lors de la fabrication des substrats, des matériaux de support ont été mélangés avec le compost pour obtenir des substrats de différentes densités. Parmi ces additifs, nous avons utilisé des écorces de pins compostées, étant donné leur abondance et leurs excellentes caractéristiques physicochimiques (densité spécifique comparable à celle de la tourbe, pH acide, capacité d'échange cationique élevée). L'addition des granules de liège (3-4 et 4-8 mm) issu des rebuts des bouchons a permis d'améliorer l'aération [13]. Nous avons évalué aussi l'effet de deux aérateurs minéraux : le sable grossier (> 0,2 mm) et les chamottes des déchets de briques concassées (5-9 mm). Plusieurs combinaisons de mélange ont été évaluées en se fondant sur les propriétés physicochimiques (texture, pH, conductivité électrique, capacité d'échange cationique, matière organique, porosité totale, porosité d'aération et densité) afin de trouver un substrat idéal à la croissance des plants [13].

La qualité des plants a été évaluée tout au long de la saison de croissance en se fondant sur des variables morphologiques et physiologiques (hauteur, dia-

mètre au collet, poids anhydre des racines et des parties aériennes, capacité de croissance des racines, statut nutritionnel des plants et mycorhization) et le comportement des plants en site de reboisement, 2 ans après plantation [13, 26, 27]. Les plants ont été inoculés par



Photo 11. Mycorhization des racines de *Pinus pinea* et extension de la phase extramatricielle de *Rhizopogon* sp. constituée par des hyphes fins et des gros cordons mycéliens (pépinière pilote de Ouechtata, Tunisie) (cliché Lamhamedi).

Photo 11. Formation of mycorrhizal symbioses on the roots of *Pinus pinea* seedlings and the extension of the extramatricial phase of the fungi, *Rhizopogon* sp., comprised of fine hyphae and large mycelial cords (Ouechtata pilot nursery, Tunisia).

Tableau

Normes préliminaires de qualification des plants des principales essences forestières

Paramètre	<i>P. pinea</i>	<i>P. halepensis</i>	<i>C. sempervirens*</i>	<i>Q. suber**</i>
Hauteur (H, cm)	25-30	25-30	30-45	28-40
Diamètre (D, mm)	3-5	3-5	4-5	4-5
Rapport (H/D)	< 7	< 7	< 8	< 8
Rapport (Tige/Rac.)	3-4	3-4	3-4	3-4
N (%)	1,6-2,0	1,8-2,0	2,0-2,2	Non déterminé (ND)
P (%)	0,2-0,3	0,3-0,4	0,3-0,4	ND
K (%)	0,8-1,1	1,2-1,4	1,4-2,0	ND
Ca (%)	0,6-1,2	0,6-1,2	1,3-1,8	ND
Mg (%)	0,1-0,2	0,1-0,2	0,2-0,3	ND
Cu (ppm)	10-15	10-13	10-20	ND
Fe (ppm)	100-130	110-140	120-140	ND
Mn (ppm)	45-50	40-50	40-50	ND
Zn (ppm)	20-30	25-35	20-30	ND
Mycorhization (%)	> 50	> 50	ND	ND

Preliminary qualification standards for seedlings of the main forest species

* Les plants de cyprès sont généralement plantés dans des terrains agricoles irrigués et donc l'utilisation des plants de forte dimension (H = 40 cm) ne posera aucun problème.

** Les plants de chêne liège de forte dimension (H > 40 cm) sont plantés dans les sites humides (précipitations > 800 mm) et constituent une bonne alternative de lutte contre la compétition végétale herbacée. En ce qui concerne l'endurcissement de cette essence, l'enlèvement de l'ombrière peut se faire dès la fin du mois de juillet.

des spores de *Rhizopogon* sp. (photo 11). Les spores en suspension ont été préparées suite à un broyage des fructifications en mélange avec de l'eau du robinet, à une faible vitesse, jusqu'à la libération des spores. La solution concentrée obtenue peut être stockée au réfrigérateur pour une longue période. L'inoculation des plants se fait aisément en injectant les spores dans le système d'irrigation. Ce champignon permet de corriger la déficience en fer lorsque le pH de la rhizosphère est basique. Les champignons ectomycorhiziens améliorent la croissance et confèrent également aux plants une tolérance à la sécheresse [26-29].

À la lumière des suivis de croissance en pépinière et en site de reboisement, des normes préliminaires de qualification des plants ont été définies (tableau). Ces normes devraient être réajustées au cours des prochaines campagnes de production tout en tenant compte des ajustements culturels et du comportement des plants en site de reboisement.

Dans une deuxième phase (1998-2000), suite à l'évaluation économique de la production des plants forestiers dans les

trois pépinières pilotes [30], la Tunisie vient de terminer la modernisation de six autres pépinières (Bousalem, Gaafour, Kasserine, Chott Mariem, Zaghouan et Bizerte) appartenant à la catégorie A, tout en mettant l'accent sur la réhabilitation des autres pépinières appartenant à cette catégorie et à l'initiation de leur personnel à ces nouvelles technologies. L'initiation des techniciens pépiniéristes s'occupant des pépinières à réhabiliter a commencé tout d'abord par les opérations de compostage afin que chaque pépinière soit en mesure de fabriquer son propre compost et son substrat, tout en tenant compte des potentialités de chaque arrondissement en termes de matière compostable. La réhabilitation sera également axée sur la modernisation du système d'irrigation et l'installation des ombrières. Ces modifications vont tenir compte du schéma directeur de modernisation spécifique à chaque pépinière préalablement déterminé sur la base des résultats obtenus dans les neuf pépinières modernes. La réhabilitation des pépinières de la catégorie A est en cours de réalisation. Ce léger décalage dans

l'exécution des travaux de réhabilitation par rapport à l'installation des six pépinières a permis d'évaluer l'efficacité des différentes composantes au niveau de ces pépinières et, en même temps, de tenir compte des inconvénients de chaque composante afin de procéder aux corrections nécessaires lors de la phase de réhabilitation des pépinières de la catégorie A. Parallèlement aux travaux d'installation, un plan de formation est accordé à l'équipe d'assistance technique actuelle ayant pour mandat de superviser les travaux dans les pépinières modernes. Cette équipe est chargée aussi de la vulgarisation et de la diffusion des techniques modernes de production et de gestion des pépinières forestières. De plus, les techniciens pépiniéristes ont suivi des cours, dans le cadre d'une formation continue axée sur l'utilisation des logiciels informatiques, les techniques de gestion et de production des plants, et la reconnaissance des maladies avec les moyens de lutte appropriés. Les techniciens pépiniéristes seront affectés uniquement aux travaux de la pépinière. Par la suite, le service des graines actuel sera doté d'un équipement supplémentaire pour garantir une meilleure qualité des semences tout en respectant les normes internationales. La caractérisation des peuplements semenciers (qualité des semences, différenciation des provenances, variabilité de production...) accompagnée d'une meilleure stratégie de récolte sera effectuée durant cette deuxième phase.

Une dernière phase de la modernisation sera consacrée aux pépinières de la catégorie B et à la généralisation des nouvelles techniques de production à toutes les pépinières forestières et pastorales, les pépinières appartenant à la catégorie C ne produisant plus de plants. Par ailleurs, une attention particulière sera accordée à la formation et au recyclage de la main-d'œuvre spécialisée dans les pépinières forestières et pastorales. Des centres de formation professionnelle pourraient assurer la formation de cette main-d'œuvre, les ouvriers pépiniéristes devant posséder une carte professionnelle de spécialisation pour travailler dans les pépinières. À la fin de cette troisième phase, les normes nationales de production et de qualité de plants seront fixées définitivement en se fondant sur les résultats de plusieurs campagnes de production et les spécificités de chaque zone forestière. En tenant compte des orientations concernant le secteur forestier visant à promouvoir la productivité des

Summary

Development strategies for forest tree nurseries in North Africa

M.S. Lamhamedi, Y. Ammari, B. Fecteau, *et al.*

In North Africa (Algeria, Morocco and Tunisia), the degradation of both natural forests and plantations is closely related to human activities such as agricultural conversion, over-grazing, poor harvesting practices and fires. Reforestation is one of the major methods used to conserve forests and reduce the increasing shortages in wood products. Since its independence, each country developed large-scale reforestation policies, based on the introduction of exotic species and the protection and restoration of soils, without giving much priority to the improvement of plant quality and the establishment of specific norms for each tree species. Root deformations caused by the containers used, as well as poor initial quality of the planting stock, resulted in trees being more susceptible to different environmental stresses after planting. Currently, Tunisia is undertaking a complete, but gradual, modernization of its forest tree nurseries. The results of this modernization strategy are very encouraging, and generalizing this approach to other countries with similar situations is promising.

Cahiers Agricultures 2000 ; 9 : 369-80.

forêts, l'ouverture de la filière privée de production des plants forestiers peut constituer une voie à privilégier. Cette transition devrait être progressive, en privatisant un nombre limité de pépinières modernes ayant maîtrisé les nouvelles techniques de production. Par ailleurs, la privatisation ne peut commencer qu'après avoir déterminé les normes de production et de qualité des plants forestiers pour chaque zone forestière. Elle peut se faire par cession des pépinières modernes existantes à des techniciens ou à des ingénieurs forestiers ou par l'intervention des pépinières privées dans la production de plants forestiers. La privatisation des pépinières forestières ne peut être réussie que dans le cadre d'un contrat prédéfini entre les producteurs de plants et la direction générale des forêts (DGF), principal utilisateur des plants, et les autres utilisateurs potentiels. Ce contrat devrait être valable pour plusieurs campagnes de production en précisant la quantité, les essences à produire et le prix d'achat. La réalisation de programmes d'ensemencement prévisionnels suppose une bonne programmation des projets de reboisement dans l'espace et dans le temps. Ces programmes de reboisement prévisionnels peuvent se heurter aux risques engendrés par les contraintes climatiques. Sous de telles conditions, l'octroi d'un contrat de production de plants par le gouvernement ne peut être donné que si le producteur a pris une assurance gouvernementale de risque couvrant la période du contrat.

Ce type d'assurance de risque spécifique à la production de plants dans les pépinières modernes devra assumer le coût des plants produits tel que prescrit dans le contrat.

Afin d'assurer un encadrement adéquat des pépiniéristes tout en tenant compte des percées technologiques dans le domaine de modernisation des pépinières, la création d'une équipe d'assistance technique gouvernementale s'avère nécessaire. Cette équipe aura pour mandat d'adapter et de vulgariser les techniques modernes de production, de faire le suivi des cultures, de contrôler et mettre à jour les normes de qualité. Cette équipe de support devra bénéficier d'un plan de formation qui tiendra compte des différents aspects de la culture des plants. En vue de s'assurer de la qualité du matériel génétique utilisé dans chaque pépinière, la distribution des semences devra être toujours assurée par la DGF. Le coût des conteneurs devrait être pris en charge par la DGF pour être en mesure de les changer en tenant compte des innovations dans ce domaine et, en même temps, de maintenir le prix des plants à un prix raisonnable.

Conclusion

Outre leur fonction protectrice et productive, en Afrique du Nord, les forêts naturelles et les plantations revêtent un caractère social et économique primor-

dial. Une grande partie de la population rurale tire l'essentiel de son revenu et sa subsistance de la forêt, engendrant ainsi un recul des superficies boisées suite aux défrichements, coupes délictueuses et surpâturage. Pour sauvegarder le patrimoine forestier, des investissements considérables ont été déployés dans les programmes de reboisement, mais les résultats ne sont pas satisfaisants. Les échecs des périmètres de reboisement sont imputables en grande partie à la mauvaise qualité des plants. Dans l'état actuel, la majorité des pépinières ont des contraintes de gestion et utilisent des installations et des techniques de production peu évoluées (sachet, nature du substrat, niveau d'électrification, qualité de l'eau, systèmes d'irrigation, structure d'ombrage, absence d'encadrement et de normes). Ces contraintes ont des effets négatifs sur la croissance et la rentabilité des reboisements. Pour rattraper le retard accumulé en matière de reboisement en mettant l'accent sur l'amélioration de la qualité, du taux de survie et de la croissance des plants, le Maroc et l'Algérie pourraient s'inspirer de l'expérience tunisienne en matière de modernisation des pépinières. À l'inverse, la Tunisie et l'Algérie pourraient utiliser les résultats des travaux réalisés au Maroc sur l'amélioration génétique des eucalyptus et la modernisation du secteur des semences forestières. Par ailleurs, la Tunisie a choisi une modernisation complète des pépinières forestières en optant pour l'introduction de nouvelles technologies de production de plants forestiers mettant l'accent sur l'utilisation des ombrières rétractables, de conteneurs, sur la valorisation des déchets sylvicoles pour produire des substrats standard, sur les mycorhizes et sur la gestion informatique. L'utilisation de ces nouvelles technologies de production de plants (*photos 6 à 11*), unique en Afrique du Nord et dans le bassin méditerranéen, est simple et adaptée aux conditions régionales, ce qui a permis l'obtention de résultats très satisfaisants quant à la qualité des plants, avec des coûts de production très compétitifs par comparaison à ceux des techniques conventionnelles [30]. Le suivi en site de reboisement pendant trois années consécutives a révélé une grande amélioration du taux de survie et de la croissance des plants de toutes les essences produites (pin pignon, pin d'Alep, eucalyptus, casuarina, acacia, chêne liège...). Cette première expérience réussie met la Tun-

sie en situation de pionnier en matière de transfert de technologie et du savoir faire concernant la modernisation du secteur des pépinières forestières. L'état actuel de la croissance et du comportement des principales essences forestières dans les trois pépinières pilotes a montré l'intérêt de ces technologies et les possibilités de leur généralisation dans des pays ayant des problèmes similaires à ceux de la Tunisie ■

Références

1. Bensaid S, Hamimi S, Tabti W. La question du reboisement en Algérie. *Sécheresse* 1998 ; 9 : 5-11.
2. Jalel T. Historique des reboisements en Tunisie. In : Direction générale des Forêts, éd. *Séminaire sur les reboisements en Tunisie*. Sousse, Tunisie, 1996 : 1-15.
3. Lamhamedi MS. *Les reboisements au Maroc : bilan et stratégies d'orientation*. Rabat : Département de Foresterie, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, 1990 ; 40 p.
4. Allison CE. *Normes et coûts des travaux forestiers*. Programme des Nations unies pour le développement. Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture. Rome, 1983 ; 40 p.
5. *Guide pratique du reboiseur au Maroc*. Rabat : ministère de l'Agriculture et de la Réforme agraire. Direction des Eaux & Forêts et de la Conservation des sols, 1978 ; 373 p.
6. Hermann RK. Seasonal variation in sensitivity of Douglas-fir seedlings to exposure of roots. *Forest Science* 1967 ; 2 : 140-9.
7. Josiah SJ, Jones N. *Root trainers in seedling production systems for tropical forestry and agroforestry*. Land Resources Series, n° 4. The World Bank. Asia Technical Department. Agriculture Division, 1992 ; 51 p.
8. *Évaluation des pépinières forestières : rapport de synthèse*. Rabat : Administration des Eaux & Forêts et de la Conservation des sols, 1996 ; 34 p.
9. Wilson PJ. Containers for tree nurseries in developing countries. *Commonw For Rev* 1986 ; 3 : 233-40.
10. Abourouh M, Lamhamedi MS, Fortin JA. *Techniques de mycorhization en pépinière des plants forestiers*. Rabat : Centre national de la recherche forestière, 1995 ; 38 p.
11. Walden RF, Wright RD. Interactions of high temperature and exposure time influence nitrification in a pine-bark medium. *Horticulture Science* 1995 ; 30 : 1026-8.
12. Minore D, Smith CE, Woollard RF. Effects of high soil density on seedling root growth of seven Northwestern tree species. *USDA Forest service PNW* 112, 1969 ; 6 p.
13. Lamhamedi MS, Fortin JA, El Ammari Y, et al. *Évaluation des composts, des substrats et de la qualité des plants* (*Pinus pinea*, *Pinus halepensis*, *Cupressus sempervirens* & *Quercus suber*) élevés en conteneurs. Montréal : Pampev Internationale, Direction Générale des Forêts, Tunis, Projet Banque mondiale n° 3601, 1997 ; 130 p.

14. Kozlowski TT. *Flooding and plant growth*. Orlando : Academic Press, 1984 ; 356 p.
15. Ben Salem B. *Root strangulation : a neglected factor in container nursery stock*. M. Sc. Thesis. University of California, Berkeley, USA, 1971 ; 50 p.
16. Lamhamedi MS, Fortin JA. La qualité des plants forestiers : critères d'évaluation et performance dans les sites de reboisement. In : Abourouh M, éd. *Actes de la première journée nationale sur les plants forestiers*. Centre de recherche et d'expérimentation forestières, 1994 : 35-50.
17. Falconnet G. *Techniques de production hors-sol de plants forestiers*. Rapport de mission FAO en Tunisie. Projet UTF/TUN/020/TUN, 1991 ; 33 p.
18. Gliniski J, Lipiec J. *Soil physical conditions and plant roots*. Florida : CRC Press Inc, 1990 ; 250 p.
19. Hay R, Woods FW. Distribution of carbohydrates in deformed seedling root systems. *Forest Science* 1975 ; 21 : 263-7.
20. Hay RL, Woods FW. Carbohydrate relationships in root systems of planted Lobolly pine seedlings. In : Van Eerden EJ, Kinghorn M, eds. *Proceedings of the root form of planted trees symposium*. Canadian Forestry Service, Report 8. Victoria, British Columbia, 1978 : 73-84.
21. Philipson J. Root growth in Sitka spruce and Dougals-fir transplants : dependence on the shoot and stored carbohydrates. *Tree Physiology* 1988 ; 4 : 101-8.
22. El Aini R, Taghouti A, Bougacha A. *Plan de développement des pépinières forestières et pastorales*. Tunis : Direction générale des Forêts, 1997 ; 10 p.
23. *Plan directeur de reboisement*. Royaume du Maroc. Administration des Eaux et Forêts et de la Conservation des sols. Ministère de l'Agriculture et de la Mise en valeur agricole, 1997 ; 124 p.
24. Lamhamedi MS, Ksontini M, Fecteau B, Fortin JA, de Chantal M. *Éléments de réflexion sur le substrat d'élevage des plants dans trois pépinières forestières pilotes en Tunisie*. Montréal : Pampev Internationale, Direction générale des Forêts, Tunis, Projet Banque mondiale n° 3601, 1995 ; 16 p.
25. Lamhamedi MS, Taghouti A, El Aini R, Bougacha A. *Les pépinières forestières en Tunisie : problématique, évolution et stratégies d'orientation*. Tunis : Direction générale des Forêts, 1997 ; 15 p.
26. Langlois CG, Gagnon J. A global approach to mineral nutrition based on the growth needs of seedlings produced in forest tree nurseries. In : Barrow NJ, ed. *Plant nutrition-from genetic engineering to field practice*. Proceedings of the 12th International Plant Nutrition Colloquium, 21-26 September 1993, Perth, Western Australia, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 1993 : 303-6.
27. Benjelloun S. *Évaluation morphologique et physiologique des plants du pin pignon* (*Pinus pinea* L.) élevés en conteneurs. Mémoire de DEA. Université de Tunis II. Faculté des Sciences de Tunis, 1997 ; 74 p.
28. CEMAGREF. *Production de plants forestiers. Guide technique du forestier méditerranéen français*, 1991 ; 34 p.
29. Lamhamedi MS, Bernier PY, Fortin JA. Growth, nutrition and water stress tolerance of *Pinus pinaster* inoculated with ten dicaryotic strains of *Pisolithus* sp. *Tree Physiol* 1992 ; 10 : 153-67.

30. Lamhamedi MS, Bernier PY, Fortin JA. Hydraulic conductance and soil water potential at the soil-root interface of *Pinus pinaster* seedlings inoculated with different dikaryons of *Pisolithus* sp. *Tree Physiol* 1992 ; 10 : 231-44.

31. Lamhamedi MS, Fortin JA, Bernier PY. La génétique de *Pisolithus* sp. : une nouvelle approche de biotechnologie forestière pour assurer une meilleure survie des plants en conditions de sécheresse. *Sécheresse* 1991 ; 2 : 251-8.

32. Mtar S, Lassoued H, Poirier M. *Étude préliminaire sur les coûts de certains aspects à la culture de semis forestiers en récipients*. Montréal : Pampev Internationale, Direction générale des Forêts, Tunis, Projet Banque mondiale n° 3601, 1996 ; 19 p.

Résumé

En Afrique du Nord (Algérie, Maroc et Tunisie), la dégradation des forêts naturelles et des plantations est très liée aux activités humaines : défrichements, surpâturages, coupes délictueuses et incendies. Le reboisement est l'un des facteurs déterminants dans la conservation des forêts et dans l'atténuation du déficit en produits ligneux. Depuis son indépendance, chaque pays a instauré une politique de reboisement de grande envergure axée sur l'introduction des espèces exotiques, la défense et la restauration des sols, sans donner toutefois une priorité à l'amélioration de la qualité des plants et à l'établissement de normes spécifiques à chaque essence. Les déformations racinaires engendrées par le sachet et la mauvaise qualité initiale des plants rendent ceux-ci sensibles aux différents stress environnementaux après plantation. Actuellement, la Tunisie organise une modernisation complète mais progressive du secteur des pépinières forestières. Les résultats de cette stratégie sont fort encourageants et sa généralisation reste prometteuse pour les pays aux situations comparables.