

Qualités physiologiques de jeunes plants de Pin d'Alep élevés en pépinière moderne sur différents substrats à base de compost

Physiological qualities of Aleppo Pine saplings produced on compost substrates in Tunisian modern nurseries

Youssef AMMARI¹, Mohammed S. LAMHAMED²,
Noureddine AKRIMI et Abdenbi Zine EL ABIDINE

Abstract: The production of vigorous forest saplings having the required biological and physiological characteristics for insuring survival, growth, and establishment after transplantation constitutes an essential condition for successful forestation programs. For the purpose of improving the quality of saplings produced, the Tunisian forest nurseries were modernized with the introduction of new cultural techniques and the improvement of traditional culture substrates made up of forest litters. These ones present unsatisfactory physical and chemical properties in addition to problems of availability. That justifies the substitution with a compost of woody biomasses locally accessible. For choosing a standard compost substrate that could be used in the various modern nurseries recently installed, five different mixtures of *Acacia Cyanophylla* Lindl. compost with sand, heat cured clay, and cork granules were evaluated in presence of a control substrate made up of peat (75%) and vermiculite (25%). Saplings of Aleppo Pine (*Pinus halepensis* L.) were cultivated in these different substrates during 223 days for the purpose of comparing their nutritional status and their root growth capability, which are considered as indicators of vigor and potential of survival after transplantation. Results obtained showed that the nutritional status of young saplings remained dependent on the composition of the mixture constituting the culture substrate used and its physical and chemical characteristics, especially the density and the pH. Saplings issued from Acacia compost based substrates were inferior to those cultivated on peat-vermiculite only by a lower content of Mn and Zn. For the evaluation of root growth capability, a supplementary 30-day period allowed to observe that saplings raised on Acacia compost substrates (50%) mixed with sand (15 to 35%), heat cured clay (0 to 15%), and cork granules (0 to 30%) offered the best performance in regard to newly initiated roots, their biomass, and their elongation. Acacia composts mixed with either a high sand proportion (50%), or with heat cured clay and cork granules, but without sand, offered a substantially lower performance for all abovementioned growth parameters. The lowest measurements were recorded on saplings grown on traditional forest litter. In conclusion, a substrate made up of 50% acacia compost, 15 to 35% sand, and 15 to 35% fine particles of heat cured clay and / or cork granules seems to offer the best conditions for producing quality saplings in forest nurseries of Tunisia and neighboring countries.

Keywords: Tunisia - Aleppo Pine - Nursery - Substrate - Compost - Peat - Nutritional status - Physical and chemical properties.

Résumé: La production de plants forestiers vigoureux ayant les caractéristiques biologiques et physiologiques requises pour assurer leur survie et leur croissance après transplantation constitue une condition essentielle pour la réussite des programmes de reboisement. Dans le but d'améliorer la qualité des plants produits, les pépinières forestières tunisiennes ont été modernisées par l'introduction de nouvelles techniques culturales et l'amélioration des substrats d'élevage traditionnels à base de terreau forestier. Ce dernier qui est prélevé de litières de forêts présente des propriétés physico-

¹Institut National de Recherche en Génie Rural Eaux et Forêts, B. P. N°10, - 2080 Ariana, Tunisie.

²Direction de la recherche forestière, Ministère des Ressources naturelles et de la Faune. 2700, rue Einstein. Sainte-Foy, Québec(PQ). Canada G1P 3W8.

³Institut National Agronomique de Tunisie, 43, Avenue Charles Nicolle, 1082- Cité Mahrajène, Tunis.

⁴Ecole Nationale Forestière d'Ingénieurs, BP. 511, Tabriquet, Salé. Maroc.

chimiques médiocres et des problèmes de disponibilité justifiant sa substitution par un compost de biomasses ligneuses accessibles localement. Pour choisir un substrat de compost standard utilisable dans les diverses pépinières modernes récemment installées, cinq différents mélanges de compost d'*Acacia cyanophylla* Lindl. avec du sable, de l'argile, et des granules de liège ont été évalués en présence d'un substrat témoin de tourbe (75%) et de vermiculite (25%). Sur ces différents substrats, des plants de pin d'Alep (*Pinus halepensis* L.) ont été élevés en pépinière pendant 223 jours dans le but de comparer leur statut nutritionnel et leur capacité de croissance racinaire, considérés comme des indicateurs de vigueur et de potentiel de survie après transplantation.

Les résultats obtenus ont montré que le statut nutritionnel des jeunes plants reste tributaire de la composition du mélange constituant le substrat de culture utilisé et de ses caractéristiques physico-chimiques, notamment la densité et le pH. Les plants issus de substrats à base de composts d'acacia n'ont été inférieurs à ceux élevés sur tourbe - vermiculite que par une plus faible teneur en Mn et Zn. Pour l'évaluation de la capacité de croissance racinaire, une période supplémentaire de 30 jours a permis de relever que les plants élevés sur des substrats de compost d'Acacia (50%) mélangés avec du sable (15 à 35%), de l'argile cuite (0 à 15%) et des granules de liège (0 à 30%) ont offert les meilleures performances pour le nombre de nouvelles racines émises, leur biomasse, et leur élongation. Les composts d'Acacia mélangés avec une forte proportion de sable (50%) ou avec de l'argile cuite et des granules de liège, mais sans sable, ont offert une performance nettement moindre pour tous les paramètres de croissance précités. Les plus faibles mesures ont été enregistrées chez les plants élevés sur terreau forestier traditionnel.

En conclusion, un substrat composé de 50% de compost d'Acacia, de 15 à 35% de sable, et de 15 à 35% de particules fines d'argile cuite et / ou de granules de liège semble offrir les meilleures conditions pour produire des plants forestiers de qualité dans les pépinières forestières de Tunisie et des pays avoisinants.

Mots-clés: Tunisie - Pin d'Alep - Pépinière - Substrat - Statut nutritionnel - Capacité de croissance - Propriétés physico-chimiques.

INTRODUCTION

Consciente de l'état de dégradation avancé qu'a connu son couvert végétal depuis son indépendance, la Tunisie a fait du reboisement une composante principale de ses programmes de développement rural. Cette stratégie vise la réalisation de multiples objectifs, à savoir : la restauration du couvert végétal, la lutte contre l'érosion, l'amélioration de la production ligneuse et fourragère et l'arrêt de la dégradation du milieu naturel.

Malheureusement, les résultats des actions de reboisement effectuées à travers les différents plans de développement nationaux n'ont pas reflété l'effort déployé, soit en terme de taux de réussite des plantations réalisées, soit en terme de croissance et de productivité des reboisements.

Diverses causes étaient à l'origine de ce résultat, parmi lesquelles la qualité des plants produits en pépinière, considérée comme l'un des facteurs limitant l'installation et la survie des jeunes semis en site de plantation (BURDETT, 1983, CORDELL *et al.* 1987, SUTTON 1988, ZINE EL ABIDINE 1993).

Des études d'évaluation des anciens périmètres de reboisement ont permis de constater que la mauvaise qualité des plants forestiers utilisés dans les reboisements est l'une des principales causes des échecs enregistrés dans les plantations forestières durant les décennies écoulées (DGF, 1978 ; MEAT, 1998 et 1999). Ce constat confirme le rôle majeur que joue la pépinière et sa gestion dans le devenir des plantations. La production des plants constitue en effet le principal maillon de la chaîne des reboisements dont dépend leur réussite. Le contrôle et le suivi des normes de qualité de ces plants durant les différentes étapes de production en pépinière et la maîtrise des conditions de transport et de stockage en site doivent constituer par conséquent une priorité absolue afin d'améliorer la survie, l'installation et la croissance des plants en site de reboisement (RITCHIE, 1984; DYREA, 1985; BURDETT, 1990 ; MARGOLIS et BRAND, 1990 ; ZINE EL ABIDINE, 2003).

Dans ce même sens, le substrat de culture et les différents matériaux qui le composent

doivent posséder une bonne capacité de rétention d'eau et des éléments minéraux (CEC), facteur déterminant des caractéristiques morphologiques et physiologiques des plants. Le substrat à base de terreau forestier utilisé actuellement dans les pépinières traditionnelles de Tunisie est caractérisé par une densité élevée, une faible porosité, une faible capacité de rétention d'eau et une faible capacité d'échange cationique. Ces mauvaises propriétés physico-chimiques n'offrent pas des conditions favorables pour la production des plants de qualité. La substitution de ce substrat par le compost à base de biomasse ligneuse verte compte parmi les principales mesures de la nouvelle stratégie de production des plants forestiers en Tunisie. Toutefois, l'amélioration des conditions d'élevage des plants par l'introduction de nouvelles techniques culturales (conteneurs, ombrière, etc.) et la substitution du terreau par le compost ne sont pas suffisants pour produire des plants de qualité. Un effort de suivi-évaluation des procédés de production est donc nécessaire pour optimiser les facteurs de production de tels plants. Ainsi, les principaux objectifs assignés à cette étude sont:

- 1) la production en pépinière moderne de plants de pin d'Alep sur 5 substrats à base de compost d'Acacia mélangés à des matériaux d'aération et de support de différentes dimensions,
- 2) la comparaison des différents substrats quant à leur effet sur le statut nutritionnel et la capacité de croissance racinaire des jeunes plants à la sortie de la pépinière,
- 3) le choix parmi les substrats testés de celui ou de ceux qui affectent positivement le statut nutritionnel et la capacité de croissance racinaire des plants pour servir de standard dans l'élevage des plants en pépinières forestières modernes de la Tunisie.

MATERIEL ET METHODES

Site expérimental

Cette expérimentation est conduite dans la pépinière d'Oued Elbir de la région du Cap Bon au Nord Est de la Tunisie ; elle est située à 40.98° de latitude Nord et 9.40° de longitude Est et à 89 m d'altitude, sous un bioclimat sub-humide, variante à hiver chaud (SCHOENENBERGER et GOUNOT1966). Il s'agit de l'une des trois premières pépinières pilotes installées en 1996 dans le cadre du deuxième projet de développement forestier (PDFII), projetant l'introduction de nouvelles technologies de production de plants forestiers en substitution aux techniques traditionnelles.

Préparation des substrats de croissance

Matière verte

La biomasse ligneuse verte, sous forme de branches d'Acacia cyanophylla, a été utilisée pour produire un compost avec les caractéristiques requises pour l'élevage de plants forestiers en pépinière moderne (LAMHAMMEDI et al. 1997, AMMARI et al. 2003). Le compost d'Acacia produit a constitué la matrice de base dans la préparation des substrats de culture testés.

Essence et substrats testés

En plus de la matière de base formée par le compost d'Acacia, des matériaux de support et d'aération ont été mélangés en proportions variables pour obtenir des substrats de différentes densités. Des granules de liège issus de rebuts de bouchons (de 3 à 8 mm de diamètre) ont été utilisés pour améliorer l'aération et la porosité des substrats. Ces granules ont fait l'objet d'un pré-traitement à l'eau chaude pour éliminer tous les effets sur les conditions physico-chimiques et la cinétique d'absorption des éléments nutritifs au niveau de la rhizosphère racinaire. Deux aérateurs minéraux sous forme de sable grossier (>0.2mm) et

de granules d'argiles cuites (5 à 9 mm) ont également servi pour la préparation des substrats en question. Un substrat de tourbe vermiculite a été utilisé comme témoin. La composition des différents substrats testés est la suivante:

- S1: 50% compost + 20% liège+15% d'argile cuite +15% de sable grossier;
- S2: 50% compost + 30% liège + 20% de sable grossier ;
- S3: 50% compost + 15% d'argile cuite 35% de sable grossier ;
- S4: 50% compost + 20% liège + 30% d'argile cuite ;
- S5: 50% compost + 50% de sable grossier ;
- S6: 75% de tourbe + 25% de vermiculite

Le Pin d'Alep (*Pinus halepensis*), essence résineuse la plus utilisée en reboisement a servi pour réaliser cette étude.

Arrosage et fertilisation

Les durées et les intervalles d'arrosage sont fixés en fonction des conditions environnantes et des besoins en eau des plants. Des asperseurs (modèle Rainjet, Harnois, Québec, Canada), dotés d'un patron d'arrosage carré (7.3 m x 7.3 m), ont été installés au nombre de 6 par section d'irrigation. La solution fertilisante a été injectée dans le système d'irrigation à l'aide de deux dozatrons installés en parallèles avec la conduite principale de l'eau d'irrigation. Le taux d'injection de la solution fertilisante peut être choisi entre 0.2 et 2%. Des analyses périodiques des différents éléments minéraux et de la conductivité électrique ont été effectuées pour s'assurer de la quantité de chaque élément minéral reçu par les plants lors de l'application des fertilisants.

Durant la saison de croissance, chaque plant a reçu, en moyenne, 82 mg (N-NO₃), 45 mg (N-NH₄), 47 mg (P), 77 mg (K), 0.12 mg (Ca), 20.32 mg (Mg), 3.04 (Fe), 0.72 mg (Mn), 1.16 mg (Zn), 0.3 mg (B) et 0.22 mg (Cu). L'approche de fertilisation est décrite de façon détaillée par LAMHAMEDI (2000). Elle tient compte des apports des différents éléments minéraux contenus dans l'eau, de son pH et démontre les modalités d'acidification de l'eau d'arrosage pour diminuer le pH dans la rhizosphère à 5.5 afin d' optimiser la croissance des résineux et éviter l'apparition des carences en fer à cause de pH relativement élevés (entre 6.8 et 7.4).

Propriétés physico-chimiques des substrats

Pour déterminer les propriétés physico-chimiques des différents substrats préparés, des échantillons ont été prélevés et analysés avant l'ensemencement.

Les analyses physiques sont limitées à la détermination de la densité spécifique à l'état sec et du poids des récipients remplis de substrats secs. Elles sont calculées sur base de cinq échantillons par substrat testé.

Les analyses chimiques effectuées selon les méthodes décrites par SASSI (1991) et par KARLA & MYNARD (1992), ont intéressé le pH_{eau} , la matière organique (Mo), la conductivité électrique (CE), la capacité d'échange cationique (CEC), l'azote total (N), le phosphore (P) et le potassium (K). Un total de 16 conteneurs par parcelle élémentaire, à raison de 15 plants par conteneur a été utilisé. Soit 240 plants par parcelle élémentaire (bloc).

Dispositifs expérimentaux installés en pépinière

Deux dispositifs expérimentaux en blocs aléatoires complets avec 5 blocs ont servi pour la conduite de cette étude. Le premier a eu pour objectif d'évaluer le statut nutritionnel des plants de Pin d'Alep élevés dans les cinq substrats testés à deux dates de leur cycle de croissance en pépinière. Dans chaque bloc, les cinq substrats sont distribués aléatoirement en rangées de 16 récipients à 15 cavités chacun (240 plants).

Le deuxième dispositif, installé en fin du cycle de croissance a eu pour objectif d'évaluer la capacité de croissance racinaire. Des plants élevés dans quatre substrats retenus

parmi les six testés (S1, S2, S3, S6) et des plants élevés dans le terreau forestier dans des sachets en polyéthylène et issus de la pépinière traditionnelle (ST) sont transplantés dans des pots remplis de sable préalablement traité avec un fongicide et un insecticide. Les pots utilisés sont de deux litres, fabriqués en polyéthylène et perforés à leur base pour faciliter le ruissellement des excès d'eau. Chaque bloc contient 10 plants à raison de deux plants par substrat, soit un total de 50 plants.

Variables d'évaluation de la qualité des plants

Variables physiologiques

Les deux paramètres physiologiques évalués sont: le statut nutritionnel et la capacité de croissance racinaire. Ces paramètres affectent la croissance et la survie des plants en site de plantation (VANDEN DRIESSCHE, 1991; LANDIS, 1985 ; LANDIS *et al.*, 1989a).

Pour l'évaluation du statut nutritionnel, 10 plants par substrat et par bloc ont été prélevés à deux dates distinctes, (104 et 223 jours après ensemencement). Des échantillons composites de la partie aérienne et des racines de ces plants ont été analysés pour la détermination des éléments minéraux, à savoir : les taux d'azote, de phosphore, de sodium et de potassium en % et les teneurs en calcium, cuivre, fer, manganèse, magnésium, et zinc en ppm.

L'expérimentation relative à l'évaluation de la capacité de croissance racinaire a été conduite à la fin de la saison de croissance sur des plants produits dans quatre substrats parmi les six testés (S1, S2, S3 et S6), en présence des plants issus de la pépinière traditionnelle et élevés sur un substrat de terreau forestier (ST). Après un mois de croissance de ces plants dans des pots pleins de sable maintenu humide à la capacité au champ, on a procédé à l'évaluation du nombre de nouvelles racines blanches, de leur longueur et de leur matière sèche. En parallèle, un suivi de l'évolution des températures journalières de l'air et au niveau de la rhizosphère a été effectué.

Analyse statistique

Pour les mesures individuelles, une analyse de la variance à deux critères de classification (bloc et substrat) a été effectuée par espèce. Comme les mesures sont destructives, c'est à dire les paramètres d'évaluation ne sont pas réalisés sur les mêmes plants pour les différentes mesures, nous pouvons considérer que ces dernières sont indépendantes les unes des autres. Pour cette raison, nous avons opté pour l'évaluation des différents substrats en tenant compte de l'ensemble des mesures réalisées à l'analyse de la variance selon un dispositif en split plot, avec les substrats comme grandes parcelles et les dates de mesure comme petites parcelles (DAGNELIE 1998).

RESULTATS

Analyses physico-chimiques des substrats testés

Les résultats de l'analyse des propriétés physico-chimiques des différents substrats testés avant le semis en pépinière (Tableau. 1) montrent une variation dans le poids sec des récipients remplis par ces différents substrats. Le poids des récipients de compost a varié entre 3.78 et 6.82 kg pour les substrats de compost contre 2.38 kg pour celui du témoin à base de tourbe. Les densités des substrats ont varié dans le même sens que les poids des récipients. Plus le substrat est lourd, plus sa densité est élevée. Ainsi, on observe que la densité des substrats à base de compost a varié entre 0.5 et 1, alors que celle du substrat de tourbe était de 0.4 seulement. Les substrats à base de compost ont montré des pH et des conductivités électriques (CE) relativement élevés. En effet, les pH des divers substrats de compost étaient presque identiques et ont varié entre 6.8 et 7.2 contre 0.4 pour celui du substrat à base de

tourbe et de vermiculite. Les CE des différents substrats ont été assez distinctes et ont varié entre 0.26 pour le substrat (S5) et 1.4 mmhos/cm pour (S4). Le substrat témoin à base de tourbe et de vermiculite s'est caractérisé par une conductivité électrique très faible qui est de l'ordre de 0.04 mmhos/cm. Les différents substrats à base de compost ont montré des capacités d'échanges cationiques (CEC) assez variables (de 9.0 à 23.2 meq/100g) et une nette richesse en éléments minéraux (N%, P₂O₅ %, K₂O%).

Tableau 1. Propriétés chimiques des différents mélanges de substrats de croissance testés avant l'ensemencement.

Substrats	Propriétés physico-chimiques des substrats testés								
	Poids des récipients	Densité (g/cm ³)	PH	CE	CEC	MO	N%	P ₂ O ₅	K ₂ O%
S1	4.25 ± 0.17	0.67	7.1±0.10	0.74±0.08	12.7±0.04	25.8±2.15	3.2±0.1	8.7±0.6	11.3±0.6
S2	3.78± 0.01	0.50	6.8±0.10	0.58 ± 0.2	13.1± 0.7	65.2 ± 6.9	2.6±0.3	14.4±1.1	13.8±1.3
S3	6.19 ± 0.08	1.0	7.2± 0.0	0.62±0.01	9.4± 0.5	9.2 ± 1.2	1.4±0.1	6.3 ± 0.2	5.5 ± 0.3
S4	3.85± 0.02	0.50	6.9±0.10	1.4 ± 0.02	23.2 ± 1.1	24.3 ± 2.0	4.3±0.2	9.3 ± 0.5	14.6±0.4
S5	6.82 ± 0.03	1.0	7.2±0.10	0.26±0.04	9.0 ± 0.3	6.8 ± 0.3	1.7±0.1	6.6 ± 0.3	3.5 ± 0.5
S6	2.38± 0.06	0.4	3.8±0.10	0.04 ± 0.0	87.6 ± 4.8	65.4 ± 5.2	1.4±0.1	11.7±0.8	3.0 ± 0.4

SCE: Conductivité électrique (mmhos/cm);

CEC: capacité d'échange cationique (meq/100g) ;

MO : matière organique (g/100g de substrat),

* Poids des récipients en Kg (chaque est constitué de 15 cavités ; 410 cc/cavité : n= 10 récipients).

* Ces paramètres sont calculés sur la base du poids des substrats.

Le statut nutritionnel

L'analyse chimique des échantillons de plants prélevés à deux dates distinctes (104 et 223 jours après la germination) du cycle cultural des plants en pépinière, montre que les teneurs relatives en éléments minéraux de la partie aérienne (tiges + aiguilles) et souterraine (racines) des jeunes plants de Pin d'Alep, varient dans le même sens sous les différents substrats testés (Figure 1, 2, 3 et 4). Cependant, la teneur en certains éléments a légèrement varié d'un substrat à l'autre en fonction de sa composition et de ses caractéristiques physico-chimiques.

En effet, on constate qu'à la fin de leur cycle cultural en pépinière (223 jour après la germination), les plants élevés dans les substrats à base de compost ont beaucoup plus accumulé de fer au niveau de la partie aérienne (110 à 176 ppm) qu'au niveau de celle souterraine (590 à 1622 ppm). Le même phénomène est observé chez les plants produits dans le substrat témoin à base de tourbe vermiculite avec une teneur moyenne en fer de 112 ppm dans leurs parties aériennes contre 462 ppm dans celles souterraines. L'examen plus détaillé des teneurs relatives de la partie aérienne en macro-éléments (N, P, K, Ca et Mg) permet de constater que la teneur en ces éléments après 104 jours de croissance est moins importante que celle observée à la fin du cycle (après 223 jours), sous tous les substrats d'élevage utilisés. On constate également que, quel que soit l'âge, les plants ont tendance à accumuler les éléments minéraux majeurs dans l'ordre suivant: azote, potassium, calcium, phosphore et magnésium, excepté ceux élevés dans le substrat S3 où on observe qu'à 104 jours après la germination, les plants ont accumulé une forte quantité de calcium, soit 3.9% contre 0.7% uniquement à 223 jours après la germination (Figures 1a et 1b). Comparés aux plants élevés dans le substrat témoin ceux élevés dans les différents substrats de compost présentent des teneurs en calcium plus élevés ayant atteint en moyenne 1.24 et 0.8% respectivement à la première et à la deuxième date d'évaluation contre 0.1% et 0.5% chez les plants témoins (Figure 1a et 1b).

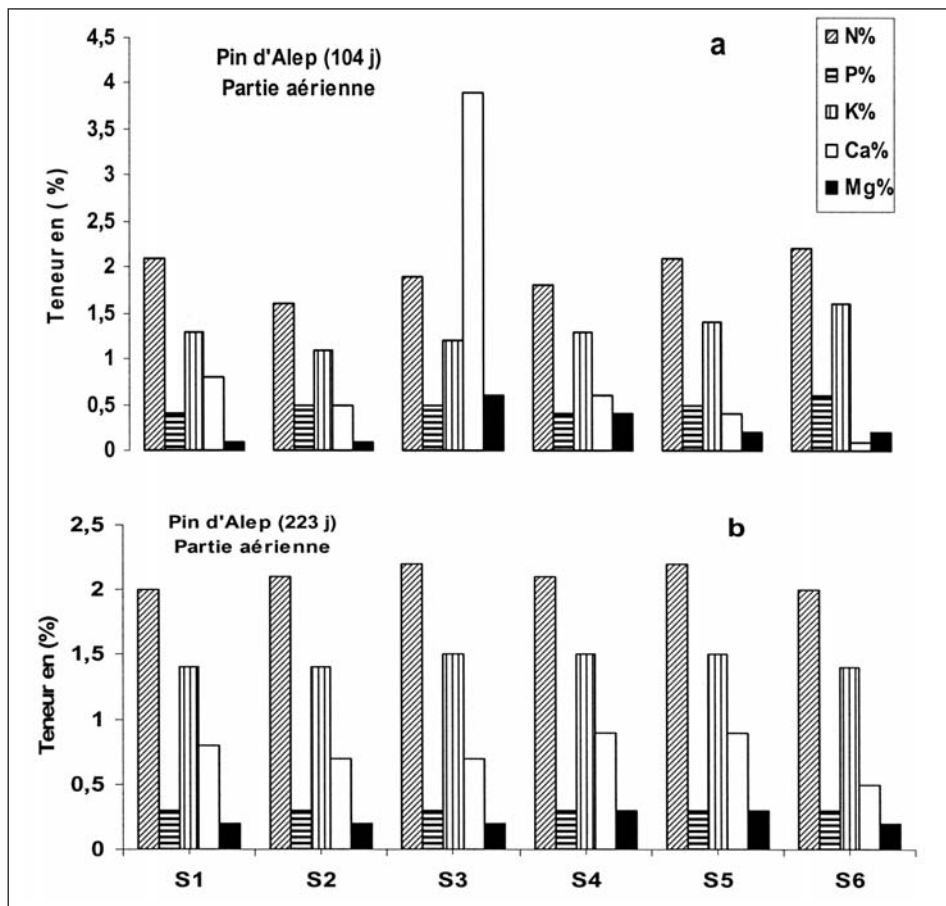


Fig. 1 : Variation des teneurs en N, P, K, Ca et Mg en % de la partie aérienne des jeunes plants de pin d'Alep élevés dans les différents substrats à base de compost testés à 104 (a) et à 223 jours (b) de croissance en pépinière.

La teneur en micro-éléments ou oligo-éléments (Mn, Fe, Zn et Cu) de la partie aérienne des plants issus des différents substrats testés a varié en fonction de la nature et de la composition des substrats (Figure 2 c). On observe qu'à la première date d'évaluation (104 jours après la germination), seuls les substrats à base de compost (S3, S4 et S5) ont permis aux plants d'acquérir des teneurs en fer proches de celles obtenues chez les plants élevés dans de la tourbe (Figure 2 c). A la deuxième date, les teneurs en fer des plants issus des différents substrats à base de compost ont varié entre 110 et 176 ppm contre 112 ppm chez les plants élevés sur le substrat témoin (Figure 2 d).

Comparés au reste des substrats, S1 et S2 semblent favoriser l'exportation des plus grandes quantités de fer à la fin du cycle de croissance des plants avec des teneurs respectives de 176 et 148 ppm. Bien qu'à 104 jours après la germination, l'ensemble des substrats à base de compost comme celui du témoin à base de tourbe (Figure 2 c) a tendance à accumuler du manganèse et du Zinc (Mn et Zn en ppm), à 223 jours après la germination, seuls les plants élevés dans de la tourbe et vermiculite ont pu conserver d'importantes teneurs en ces éléments (Figure 2 d).

L'examen des résultats des analyses effectuées sur les racines des mêmes plants, à 104 et 223 jours après la germination, montre également une variation quantitative et qualitative des accumulations en macro-éléments sous les différents substrats testés. Ainsi comparées aux plants élevés dans le substrat témoin, lors des deux dates d'échantillonnage les racines des plants élevés dans les substrats de compost ont montré de fortes teneurs en calcium. Celles-ci étaient plus importantes à la première date d'échantillonnage (104 jours après la germination) avec des valeurs ayant varié entre 1.7 et 2.8% contre 0.7% chez les plants élevés dans de la tourbe-vermiculite. Alors que leurs teneurs en azote et en potassium ont été proches de ceux trouvés chez les plants témoins (Figure 3 e).

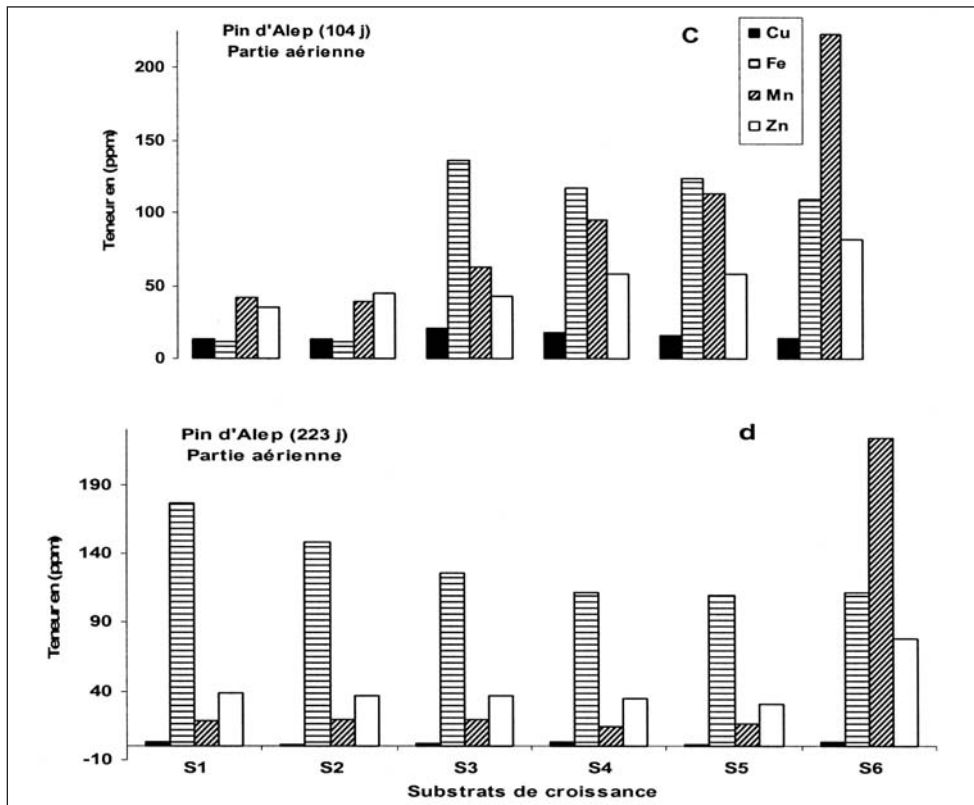


Fig. 2 : Variation des teneurs en Cu, Fe, Mn, et Zn en ppm de la partie aérienne des jeunes plants de pin d'Alep élevés dans les différents substrats à base de compost testés à 104 (c) et à 223 jours (d) de croissance en pépinière.

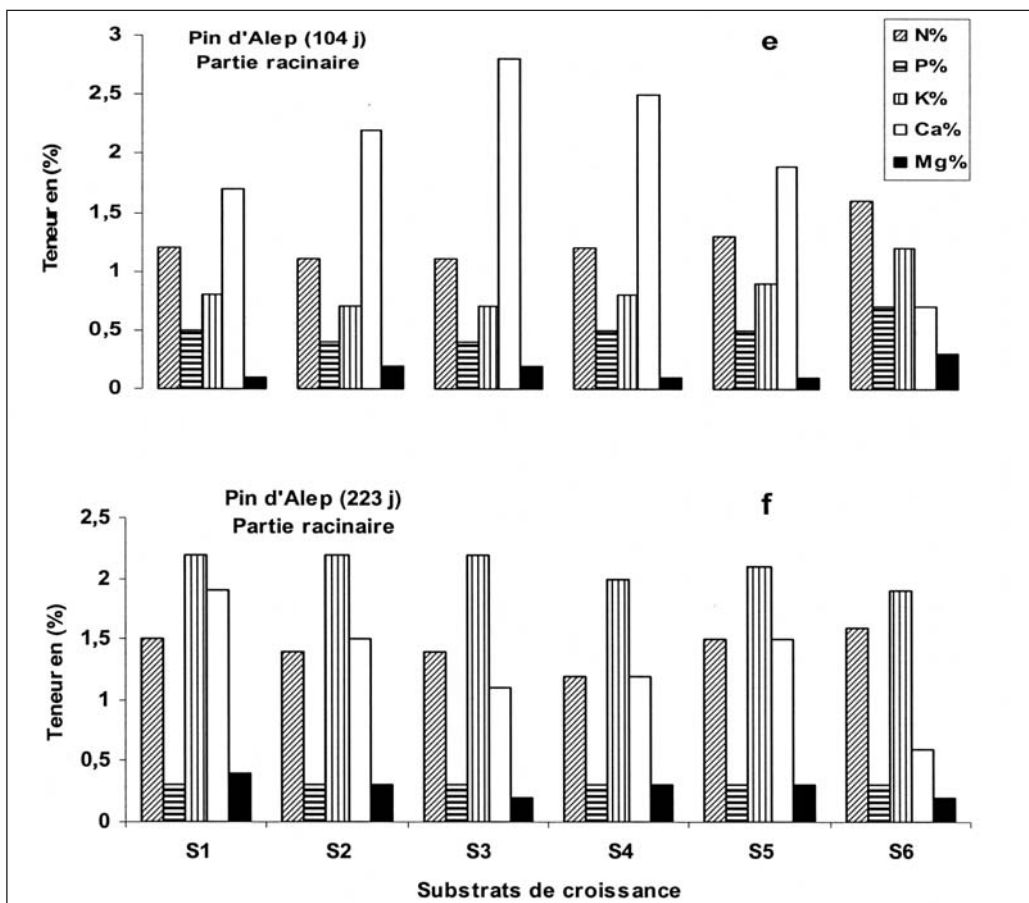


Fig. 3 : Variation des teneurs en N, P, K, Ca et Mg en % de la partie racinaire des jeunes plants de pin d'Alep élevés dans les différents substrats à base de compost testés à 104 (e) et à 223 jours (f) de croissance en pépinière

Cependant, à 223 jours de croissance on constate que les teneurs des racines, en macro-éléments sous les différents substrats testés, ont été presque qualitativement et quantitativement identiques. Excepté pour les racines des plants élevés dans la tourbe qui ont montré des teneurs en calcium largement inférieur à ceux élevés dans les substrats de compost (Figure 3f). Les teneurs en micro-éléments (Cu, Fe, Mn et Zn) sous l'ensemble des substrats testés ont été plus élevés dans les racines que dans les parties aériennes lors des deux dates d'analyse. Comparé aux autres micro-éléments, le fer montre une importante concentration au niveau des parties racinaires des plants. Les teneurs ont varié entre 536 et 1622 ppm pour les racines des plants issus de substrats de compost et entre 418 et 462 ppm pour ceux issus de la tourbe-vermiculite (Figure 4g).

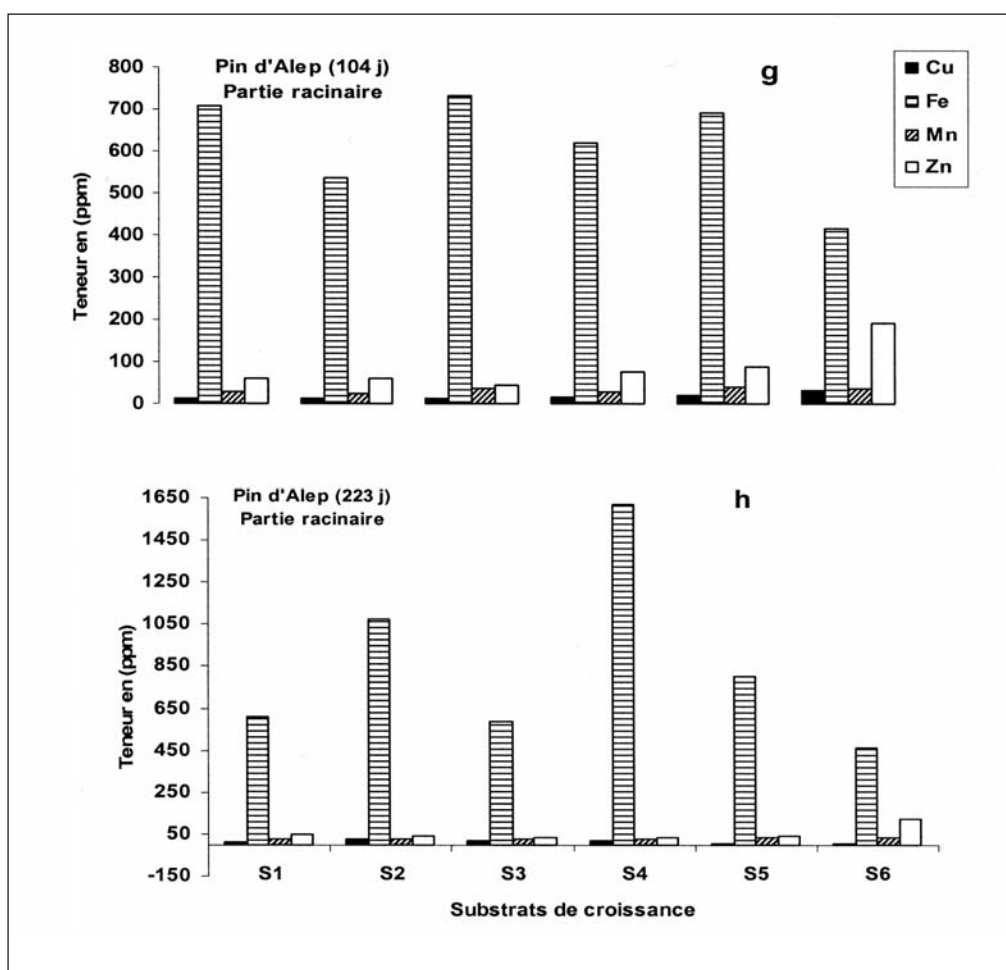


Fig. 4 : Variation des teneurs en Cu, Fe, Mn, et Zn en ppm de la partie aérienne des jeunes plants de pin d'Alep élevés dans les différents substrats à base de compost testés à 104 (g) et à 223 jours (h) de croissance en pépinière.

A la fin de leur cycle de croissance, les accumulations du fer dans les racines des plants ont été sous les cinq substrats de compost testés (S1, S2, S3, S4 et S5) respectivement de 613, 1071, 590, 1622 et 801 ppm contre 462 ppm seulement sous le substrat témoin (Figure 4h).

La capacité de croissance racinaire

L'évaluation de la capacité de croissance racinaire des jeunes plants de pin d'Alep à la fin de leur cycle de croissance et juste avant la plantation (à 223 jours après la germination) a servi pour vérifier leur vigueur et leur aptitude à développer de nouvelles racines pour une meilleure installation après leur plantation. Le suivi de l'évolution de la température à l'intérieur du sable où ont été placés les plants (figure 5a), lors du test d'évaluation de la capacité de croissance racinaire, permet de constater qu'une température d'environ 20°C a été



Photo 1: Etat de croissance en site de reboisement de jeunes semis de Pin d'Alep produits sur substrats à base de compost (à gauche) et sur terreau forestier (à droite)

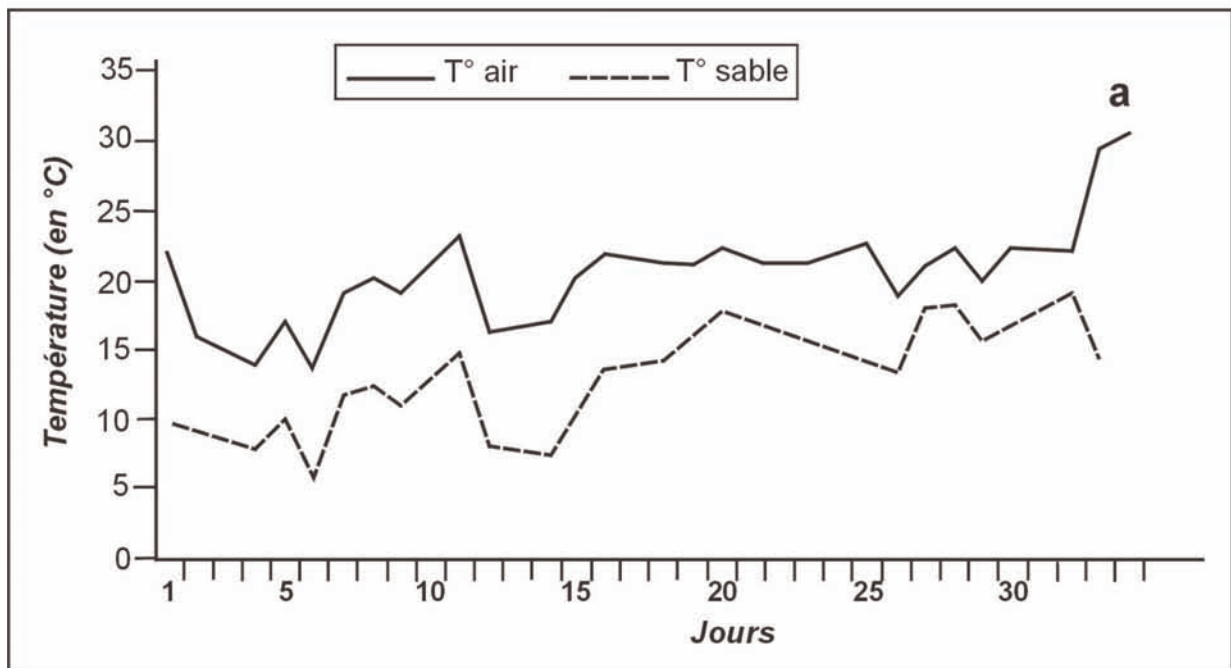


Fig. 5a: Evolution de la température de l'air et du sable pendant la durée de l'étude.

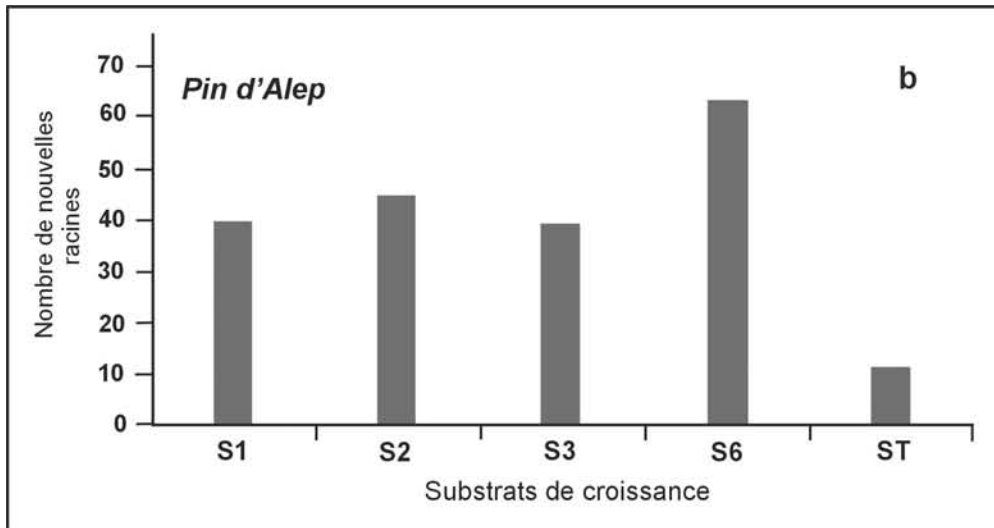


Fig. 5b: production de nouvelles racines des jeunes plants de Pin d'Alep dans les différents substrats testés

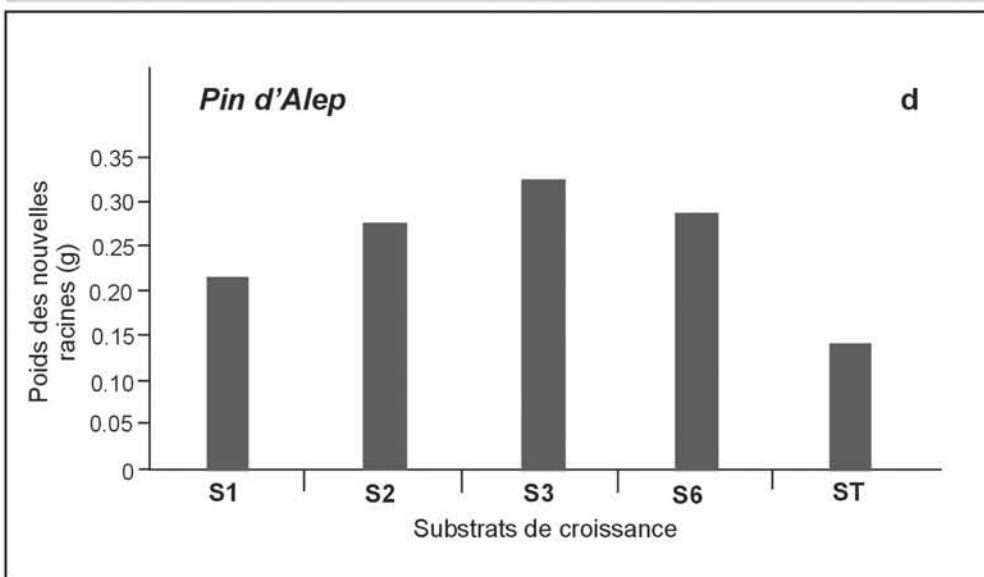
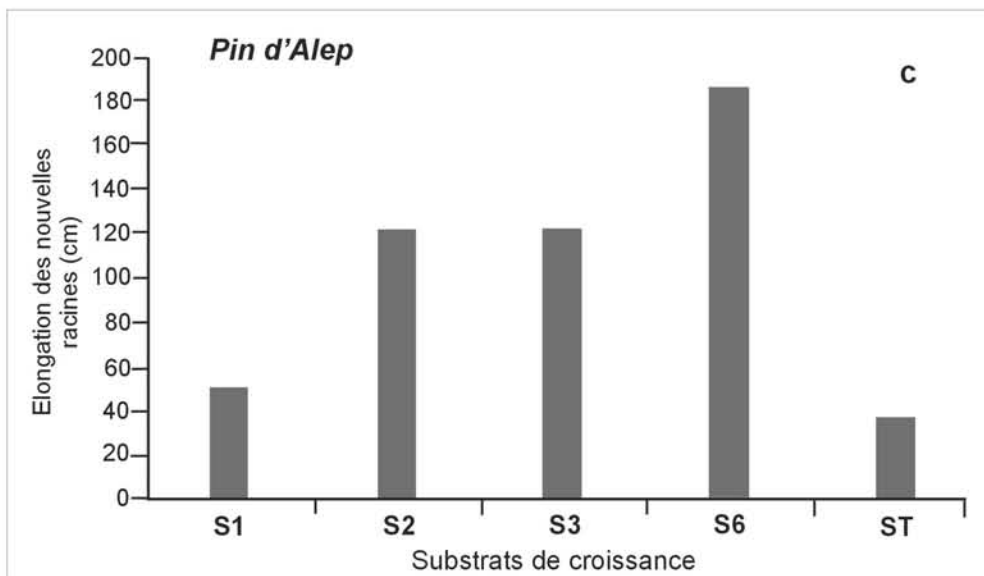


Fig. 6: évolution de la croissance racinaire en longueur (c) et en poids de nouvelles racines (d) chez les jeunes plants de Pin d'Alep élevés sur les différents substrats testés.

favorable à la croissance racinaire, bien qu'elle ait été relativement basse durant quelques jours au début de la période de l'expérimentation où elle est descendue jusqu'à 5°C.

On constate que le nombre de nouvelles racines émis pendant la durée de l'étude (30 jours), leurs élongations et leurs poids ont varié d'un substrat à l'autre et ce sont les plants élevés dans le substrat à base de terreau forestier (ST) qui ont été les moins performants (Figures 5b, 6c et 6d). Ainsi, chez les plants élevés dans le substrat témoin à base de tourbe-vermiculite (S6), le nombre de nouvelles racines produites à la fin de la durée du test d'évaluation de la capacité de la croissance racinaire a été de 63; chez ceux élevés dans les substrats à base de compost (S1, S2 et S3) le nombre de nouvelles racines émises a varié entre 40 et 45 alors que chez les plants issus du substrat traditionnel de terreau, ce nombre n'a pas dépassé les 4 nouvelles racines (Figure 5b). La même variation a été aussi observée pour les variables, croissance en longueur des racines et biomasse racinaire produite (Figure 6c et 6d). Chez les plants élevés dans le terreau traditionnel, l'évolution des mêmes paramètres a été sévèrement affecté et a montré une importante faiblesse par rapport à celle obtenue avec les différents substrats testés (Figure 5b, 6c et 6d).

DISCUSSION

Les résultats de cette expérimentation nous ont ouvert de bonnes voies pour proposer des solutions aux problèmes posés par l'utilisation de terreau forestier pour la production de plants en pépinière. Le compost d'Acacia mélangé à divers matériaux d'origine locale nous a servi pour la réalisation d'un double objectif : d'une part, il a permis de trouver une solution au problème du prélèvement de terreau qui constitue une pratique anti-environnementale causant des dégâts aux peuplements forestiers ; d'autre part, il a permis d'améliorer la qualité des plants pour une meilleure réussite en site de plantation.

En pépinière, les propriétés physiques du substrat de culture comptent parmi les facteurs déterminants de la qualité biologique des plants et, vu l'impossibilité de leurs modifications après installation des jeunes plants, ces caractéristiques s'avèrent plus importantes que les chimiques. Elles influent directement sur l'ensemble des fonctions racinaires des plants, notamment l'absorption de l'eau et des éléments minéraux (HILLEL 1982 ; LANDIS 1990 ; CPVQ 1993)

Comparés au substrat de tourbe-vermiculite, les différents substrats de compost ont montré des densités variables. Celles-ci ont été affectées par la nature et la proportion des divers constituants de chaque substrat. Les substrats de compost S1, S2 et S4 ont montré des densités équivalentes où presque à celle du témoin à base de tourbe-vermiculite considéré comme standard dans de nombreux pays, à l'encontre des substrats S3 et S5 qui ont donné des densités deux fois plus importantes (Tableau 1). La densité des différents substrats testés a directement affecté le poids des récipients. Ainsi, comparés aux substrats ayant de faibles densités, ceux de fortes densités ont vu doubler les poids de leurs récipients (Tableau 1). En effet, le poids des récipients est un facteur d'une grande importance pour le choix du substrat à retenir parmi ceux testés. Plus le substrat est léger plus la manipulation des récipients lors de la conduite culturale des plants en pépinière et leur transport pendant la plantation en site de reboisement sont faciles.

A côté de sa vocation de support aux jeunes plants, le substrat de croissance doit aussi posséder des caractéristiques chimiques offrant les meilleures conditions de croissance. Il doit être biologiquement et physiologiquement stable, léger, d'une bonne capacité d'échange cationique (CEC) (CEMAGREF 1989; ABOUROUH 1992 ; CPVQ 1993). Les analyses chimiques effectuées sur les différents substrats testés ont montré que ceux à base de compost possèdent des capacités d'échange cationique (CEC) relativement inférieures à celle du substrat de tourbe-vermiculite. Ces CEC ont varié entre 9 à 23.2 meq/100g pour les substrats de compost contre 87.6 meq/100g pour la tourbe-vermiculite. Toutefois, les CEC des substrats de compost testés s'avèrent être trois fois plus importantes que celle d'un substrat de tourbe-sable (8 meq/100g), deux fois plus que celle d'un substrat composé de tourbe-perlite

(11 meq/100g) mais identique à celle d'un substrat à base d'écorce de pin mélangé au perlite (24 meq/100g) (BUNT 1988). Par conséquent, ceci pourra leur permettre d'être classés parmi les catégories de substrats utilisés à l'échelle internationale.

La bonne capacité d'échange cationique (CEC) d'un substrat renseigne sur sa bonne aptitude à retenir les éléments minéraux pour les mettre à la disposition des plants (ORLANDER, 1984 ; LEVITT, 1980 ; KRAMMER, 1986 ; KOSLOWSKI *et al*, 1991). Dans le cas de la production des plants en pépinières modernes, compte tenu de la composition et de la nature des engrais apportés (engrais à libération lente et engrais solubles), la CEC ne peut pas être considérée comme facteur déterminant d'un bon substrat de culture (CPVQ 1993, LANDIS, 1990). Cependant, à cause des problèmes environnementaux qui en découlent sous forme de perte par lessivage et du coût de revient des plants produits sur des substrats de médiocres CEC, la qualité de ces dernières doivent de plus en plus retenir l'attention des pépiniéristes en matière de choix des substrats de culture. Les substrats à base de compost ont montré, par ailleurs, une nette richesse en éléments minéraux ce qui offre de meilleures conditions au démarrage de la croissance des plants lors des premiers stades de développement avant l'application de la fertilisation.

Si, dans les conditions naturelles, le pH affecte la disponibilité des éléments minéraux, ceci ne semble pas être totalement vrai dans le cas de production des plants en conteneurs avec apport soutenu en éléments fertilisants sous forme d'engrais solubles (CPVQ 1993). Néanmoins, un pH excessif peut entraîner une forte accumulation de Calcium, de Magnésium ou de Sodium, alors qu'un pH < 5 peut entraîner des phénomènes de toxicité à cause d'une importante accumulation du Fer (CPVQ 1993, LANDIS 1990). Cette règle semble être vérifiée dans notre cas où on constate, dès le départ, que les pH des différents substrats de compost testés ont été assez élevés (Tableau 1). Sous ces pH, lors des deux dates d'échantillonnage (104 et 223 jours après la germination) les teneur en éléments minéraux, au début et à la fin du cycle de croissance des parties aérienne et racinaire des plants de Pin d'Alep élevés dans les différents substrats à base de compost et de tourbe-vermiculite, n'ont pas montré des symptômes de carences apparents. Cela reflète une bonne répartition des applications de la fertilisation et une composition équilibrée et compatible de ses différents constituants. Cependant on constate que lors des deux dates d'échantillonnage (104 et 223 jours après la germination), les teneurs en macro-éléments (N, P, K, Ca et Mg) concordent parfaitement avec les teneurs standards des conifères adaptées par YOUNGBERG en 1984, alors que les teneurs en micro-éléments (Mn, Fe, Zn et Cu), montrent des déficiences en cuivre et en manganèse à la fin du cycle de culture des plants (223 jours après la germination). Si les teneurs standards dans la partie aérienne des conifères en Cu et Mn varient respectivement pour les deux éléments entre 4 et 20 ppm et entre 100 et 250 ppm (YOUNGBERG, 1984), les teneurs trouvées à la fin du cycle de croissance chez les plants issus des différents substrats testés ont varié entre 1 et 3 ppm pour le Cu et entre 14 et 19 ppm pour le Mn. Toutefois, il semble que la déficience en Cu, peut être attribuée à un problème métabolique et de translocation du niveau racinaire à celui aérien des plants, puisque les teneurs des racines des même plants analysés en cet élément ont varié entre 8 et 26 ppm, alors qu'elles n'ont pas dépassé 3 ppm dans la partie aérienne. Alors que la déficience en Mn, semble plutôt être attribuée à un manque au niveau de la solution fertilisante puisque la teneur des racines en cet élément est aussi déficient avec 33 ppm. Finalement il semble que le PH relativement élevé des différents substrats de compost serait à la fois à l'origine de la déficience du Cu dans la partie aérienne des plants et des accumulations de certains minéraux comme le calcium, le fer et le Cu dans la partie racinaire avec des valeurs qui varient entre 0.6 et 1.9% pour le Ca, entre 590 et 1622 ppm pour le Fe et entre 8 et 26 ppm pour le Cu. Par conséquent, un effort d'amélioration des propriétés chimiques de ces substrats serait souhaitable pour abaisser le PH afin d'améliorer la nutrition minérale et éviter les pertes par lessivage.

Un plant de qualité doit également posséder un bon système racinaire permettant le démarrage de sa croissance aussitôt qu'il est mis en contact avec le sol et de survivre une fois placé en site de plantation (RITCHIE & DUNLAP, 1980 ; LANGLOIS, 1984 ; CEMAGREF 1989). Le test de capacité de croissance racinaire effectué sur les plants de Pin d'Alep produits

sur les différents substrats de compost comparés d'une part à celui des plants issu de la pépinière traditionnelle et élevés dans le terreau forestier et d'autre part à celui des plants produits sur un substrat idéal de tourbe-vermiculite, a permis de montrer une bonne performance des plants issu des substrats de compost (Figure 3b, 3c et 3d). En effet, ce test a révélé la nette supériorité de tous les nouveaux substrats à base de compost sur celui du terreau forestier du fait que les plants élevés dans ce dernier ont donné les valeurs les plus faible des différentes variables de performance évaluées (production de nouvelles racines, biomasse et élongation racinaire). En outre, des conditions de température, d'humidité, et de préparation du sol similaires en site de plantation favorable conduisent à une dynamique de croissance racinaire comparable à celle obtenue en expérimentation..

CONCLUSION

Utilisé depuis des décennies comme substrat de culture en pépinières forestières traditionnelles, le terreau a montré des caractéristiques limitées quant à la production de plants de qualité. Le présent travail vient montrer la possibilité de substituer au terreau des substrats à base de compost. Ces derniers ont montré des propriétés physico-chimiques plus intéressantes pour la croissance et le développement des jeunes plants en pépinière. Néanmoins on a constaté que la nature et la proportion des éléments utilisés dans la fabrication des différents substrats de croissance testés ont conditionné leurs caractéristiques physico-chimiques ; lesquelles à leur tour ont affecté le statut nutritionnel des plants au début et à la fin de leur cycle de croissance. Le test de la capacité de croissance racinaire a montré qu'à l'inverse des plants produits dans le terreau, ceux produits dans les substrats à base de compost présentent des caractéristiques physiologiques satisfaisantes et nettement supérieures.

A la date de sortie de la pépinière (223 jours après la germination), les plants de pin d'Alep élevés sur les différents substrats de compost testés ont des statuts nutritionnels et des capacités de croissance racinaire relativement variables en fonction de la composition et de la nature des constituants de chaque substrat. Les plants issus de certains substrats de compost se sont montrés meilleurs que d'autres. Ainsi, les plants élevés dans les substrats (S1, S2, S3) composés de 50% de compost d'Acacia, de 15 à 35% de sable, et de 15 à 35% de particules fines d'argile cuite et / ou de granules de liège semblent présenter les caractéristiques physiologiques optimales leur permettant d'être retenus pour une évaluation en site de reboisement et l'établissement d'un standard de substrat pour les pépinières modernes de la Tunisie.

BIBLIOGRAPHIE

- ABOUROUH M. 1992. Les plants Forestiers : Normes de qualité et techniques culturales. Actes de la première journée nationale sur les plants forestiers, p 17-33.
- BEN JALLOUN S. 1997. Evaluation morphologique et physiologique des plants de pin Pignon (*Pinus pinea* L.) élevés en conteneurs. Mémoire du diplôme d'études approfondies. Faculté des sciences de Tunis. 70p.
- BOUDY P., 1948- Economie Forestière Nord-Africaine: Milieu physique et milieu humain, 682p.
- BURDETT A.N. 1983. Quality control in the production of forest planting stock, *Can. J. For. Res.*, 20: 41-427.
- BURDETT A.N. 1990. Physiological processes in plantation establishment and the development of specification for forest planting stock. *Can. J. For. Res.* 20: 415-427.
- BUNT A.C. 1988. Media and mixes for container-grown plants. Boston: Unwin Human. 309p.
- CEMAGREF 1989. La culture hors sol des plants forestiers méditerranéens : le conteneur, le substrat, la mycorrhization. Cemagref, France: 34p.

- CORDELL C.E., OWEN J.H. & ARX D.H. 1987. Mycorrhizae nursery management for improved seedling quality and field performance. In "Meeting the challenges of the nineties: Proceedings Intermountain Forest Nursery Association", USDA, General Technical Report, R.M. 151:105-115
- Conseil des Productions Végétales du Québec (CVPQ). 1993.** Pépinières, culture en conteneurs, Substrats.19p.
- DURYEA M.L. 1985. Evaluating seedling quality: principles, procedures and predictive ability of major tests. For. Res. Lab., Oregon State University, Corvallis; 143p
- HILLEL D. 1982. Introduction to soil physics. Academic Press, San Diego. 365p.
- KARLA Y. P. & D.D.G. MOYNARD. 1992. Méthodes d'analyse des sols forestiers et des tissus végétaux. Rapport d'information NOR-X-319F. FORÊTS Canada, Région du Nord Ouest. 129p.
- KRA P. J. 1986. The role of physiology in forestry. *Tree Physiology*. 2: 1-16.
- KOZLOWSKI T. T., KRAMMER P. J. & PALLARDY S. G. 1991. The physiological ecology of woody plants. Academic Press. New York, 811p.
- LAMHAMEDI M. S. 1995. Eléments de réflexion sur le substrat d'élevage des plants dans trois pépinières forestières pilotes en Tunisie. Projet : Bird N° 3601 TUN. Direction Générale des Forêts. Tunisie. 16p.
- LAMHAMEDI M. S. & FORTIN J.A. 1994. La qualité des plants forestiers : Critères d'évaluation et performance dans les sites de reboisement. In « Actes de la première journée nationale sur les plants forestiers ». Ed. Abourouh M. Centre de Recherche et d'Expérimentation Forestières, pp 35-50.
- LANDIS T D. 1990. Growing media. In : *Containers and growing media*. Vol 2. Agriculture Handbook. 674. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 41-85.
- LEVITT J. 1980. Responses of Plants to environmental stresses. Vol2. water, Radiation, Salt Land other stresses. Academic Press, Toronto.
- MARSHALL J.D. 1985. Carbohydrate status as measure of seedling quality. In "Proceedings; Evaluation seedling quality: principles procedures and predictive abilities of major tests". (Duryea M.L.Ed.). Oregon State Univ: 29-48.
- Mc CRACKEN I. J. 1976. Packaging and cold storage of tree seedlings. *N. Z. J. For.*, 24: 278-287.
- Mc CRACKEN I. J. 1979. Changes in the carbohydrate concentration of pine seedlings after cool storage. *For. Sci.*, 24: 17-24.
- MARGOLIS H. A. & BRAND D. G., 1990 - An ecophysiological basis for understanding plantation establishment. *Can. J. For. Res.* 20: 375-390.
- Mohammed S. LAMHAMEDI, Youssef AMMARI, Bertrand FECTEAU, J. André FORTIN, Hank MARGOLIS, 2000 : Problématique des pépinières forestières en Afrique du Nord et stratégies de développement. Cahiers Agriculture 2000 ; 9 : 369-80.
- Ministère de l'Environnement et l'Aménagement du Territoire (MEAT), 1998.** Aperçu sur les ressources naturelles en Tunisie, 6p.
- Ministère de l'environnement et de l'aménagement du territoire Tunisien (MEAT). 1999.** Etude de suivi - évaluation des actions de reboisement forestier et pastoral et de fixation des dunes dans le nord ouest, 67p.
- ÖRLANDER G. 1984. Some aspects of waters relations in planted seedlings of *Pinus sylvestris* L. Thèse Doctorale. Université Suédoise des Sciences Agricoles, Département de sylviculture.
- RITCHIE G. A. 1984. Assessing seedling quality. In "Forest nursery manuel: Production of bareroot seedling. (Dureya M. L and Landis T. D. Eds.). Martinus Nijhoff / Dr.W.Junck. The Hague: 243-259.
- RITCHIE G. A. & DANLAP J.R. 1980. Root potential, its development and expression in Forest tree seedlings. *N.Z.J. For. Sci.*, 10: 218-248.
- SASSI R. S. 1991. Manuel d'analyses des sols, plantes, eaux et engrais. Institut National de la Recherche Agronomique de Tunisie. Laboratoire d'Analyse des sols, plantes et eaux. Tunis.78p
- SCHOENENBERGER A & GOUNOT M. 1966. Annales de l'Institut national de la recherche Agronomique de Tunisie : Carte phyto-écologique de la Tunisie Septentrionale.
- SUTTON R.F. (1988). Planting stock quality is fitness for purpose. In "Taking stock: The role of nursery practice in Forest renewal". (Smith C.R. and Riffele R.J. Eds .), Symp.Proc. O-P-16, Ontario: 39-43.
- VANDEN DRIESSCHE R. (1991). Mineral nutrition of conifer seedlings. CRC press, Boston: 274p.
- YOUNGBERG C. T. (1984). Soil and tissue analysis: tools for maintaining soil fertility. pp 75-80 In: M. L. Duryea and T. D. Landis (eds.). Forest Nursery Manuel: Production of Bareroot Seedlings. Martinus Nijhoff/Dr W. Junk, The Hague.

- YOUSSEF AMMARI M. S., LAMHAMMEDI N., AKRIMI & 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'I.N.A.T. Vol. 18 n° 2- Décembre 2003.
- ZINE EL ABIDINE A. 1993. Les relations hydriques et les échanges gazeux de quatre populations d'Épinette noire (*Picea Mariana* (Mill) B.S.P.) en relation avec leur tolérance au stress hydrique. Ph. D. thèse, Université Laval, Québec-Canada, 165p.
- ZINE EL ABIDINE A. 2003. Le dépérissement des forêts au Maroc. Analyse des causes et stratégie de lutte. *Sècheresse*, 14, 4 : 209-218.

