



Essai de valorisation de compost d'*Acacia cyanophylla* pour la production de plants de Pin pignon (*Pinus pinea* L.) : Résultats en pépinière et après cinq ans de transplantation

Mebarek CHOUIAL et Samir BENAMIROUCHE

Station Régionale de la Recherche Forestière de Jijel, Kissir El Aouana 18103

Résumé

Le présent travail vise la valorisation de compost d'*Acacia cyanophylla* pour la production de plants de Pin pignon en pépinière et après transplantation en parcelle expérimentale. Neufs substrats de croissance à base de compost pur ou mélangé à d'autres matériaux disponibles localement et un substrat témoin à base d'humus forestier ont été évalués dans cet essai. À la fin du cycle d'élevage, les plants ont été transplantés en parcelle expérimentale et ont été suivis pendant cinq années pour confirmer les résultats de la phase pépinière. Les résultats obtenus montrent que les substrats d'élevage à base de compost ont offert de meilleures conditions de croissance aux plants de Pin pignon et ont permis de réaliser des gains significatifs de croissance allant de 28 à 38 % en hauteur et de 25 à 44 % en diamètre et de 48 à 62 % en biomasse sèche, en plus une meilleure capacité de régénération racinaire par rapport aux plants du témoin. D'après les résultats obtenus de l'essai de plantation en parcelle expérimentale, il apparaît que l'effet de la nature du substrat utilisé en pépinière sur la reprise, la survie et la croissance des plants après transplantation persiste même après une période de croissance relativement longue de 5 ans.

Mots-clés : Compost ; Substrat ; Croissance des plants ; Capacité de régénération racinaire ; Transplantation ; *Pinus pinea*.

Evaluation of Acacia cyanophylla compost for Stone pine (Pinus pinea L.) seedling production: Results in the nursery and after five years of transplantation

Abstract

The present study aims to evaluate the effect of *Acacia cyanophylla* compost on quality and post-planting performance of *Pinus pinea* seedlings. Accordingly, nine composts based growing media and a control made of forest humus were used for seedling production in nursery. At the end of the nursery phase, seedling samples representing each growing media were transplanted to the field and monitored for five years to confirm the results of the nursery phase. The results obtained showed that the compost-based substrates provided better growing conditions for *Pinus pinea* seedlings and resulted in significant growth gains of 28 to 38% in height and 25 to 44% in diameter, 48 to 62% in total seedling dry weight and a better root regeneration capacity compared to those of the control substrate. Furthermore, the results obtained from the field growth, it appears that the nature and the composition of substrates used in the nursery phase may continue to have a prolonged effect on seedling growth, field recovery and survival for at least five years after out planting.

Keywords: Compost; Substrate; Seedlings growth; Root -growth potential; Transplanting; *Pinus pinea*

1. Introduction

Dans le cadre des préoccupations de la filière pépinière en matière de support d'élevage, la valorisation des différents constituants de la biomasse végétale ligneuse verte renouvelable s'avère une alternative prometteuse aux matériaux d'usage courant dans nos pépinières. Ainsi, au lieu d'incinérer la biomasse végétale ligneuse verte issue des différentes

interventions sylvicoles en forêt, de taille d'arbres d'alignement et des déchets de jardin publics, cette dernière peut être récupérée, compostée et valorisée dans la confection des substrats de culture en pépinière forestière. Toutefois, l'utilisation de la biomasse végétale à l'état frais présente des inconvénients liés à leur richesse en polyphénols et en pathogènes et leur instabilité. Le recours à leur compostage constitue donc



un moyen efficace permettant la décomposition biologique, la stabilisation de ces résidus organiques et l'exemption d'agents pathogènes [1-3]. Le compostage constitue ainsi un mode de gestion des déchets organiques plus respectueux de l'environnement.

Plusieurs travaux ont démontré l'efficacité de l'utilisation du compost comme substrat de croissance pour la production de plants de qualité de diverses espèces en pépinière [4-14]. Les substrats d'élevage à base de compost ont substitué les substrats à base d'humus forestier qui présentent des caractéristiques physiques, chimiques et biologiques médiocres [15,16]. La substitution de ce type de substrat issu de la décomposition de litière sous les peuplements forestiers par le compost vise, en outre, la protection de l'environnement par l'élimination des perturbations causées par son extraction. Parmi les espèces pouvant offrir une source renouvelable de matière verte à composter, l'*Acacia cyanophylla* offre de réelles potentialités en raison notamment de sa croissance rapide permettant une exploitation à courte rotation et de sa disponibilité eue égard aux superficies plantées ces dernières années.

Dans cette perspective et dans l'objectif global d'améliorer les taux de réussite des plantations forestières par l'utilisation des plants de qualité capables de s'installer, de survivre et de croître facilement une fois mis en terre, le présent travail vient de compléter nos travaux antérieurs [17,18] ayant porté sur la production de compost à base de broyat de branchage d'*Acacia cyanophylla* Lindl, l'évaluation de son degré de maturation et son rendement, sa caractérisation physique et chimique et son utilisation dans la confection de substrats pour l'élevage de plants de chêne liège en pépinière. Les objectifs assignés à cette étude sont : i) évaluation de la croissance et de la qualité des plants de Pin pignon (*Pinus pinea* L.) produits dans ces substrats en pépinière, ii) évaluation de la performance et du comportement après transplantation en parcelle expérimentale de jeunes plants de Pin pignon élevés sur des substrats à base de compost en comparaison avec les plants produits dans un substrat témoin sans compost.

2. Matériels et méthode

2.1. Site d'expérimentation

Cette expérimentation a été menée en pépinière expérimentale et en parcelle expérimentale de la station régionale de recherche forestière de Jijel sise à environ 12 km à l'ouest du chef-lieu de la wilaya de Jijel sur le littoral-est Algérien, sous un bioclimat humide, pluvieux et froid en hiver, chaud et humide en été.

2.2. Substrats d'élevage des plants

Les substrats utilisés dans cette étude sont les mêmes substrats que ceux utilisés dans nos travaux antérieurs et ayant concerné le chêne liège [17]. L'objectif de cette phase était d'évaluer l'effet du compost d'*Acacia cyanophylla* sur la croissance et la qualité des plants de Pin pignon en pépinière. Il s'agit de neuf mélanges à base de compost d'*Acacia cyanophylla* Lindl comparés avec un témoin composé de proportions égales d'humus forestier et de granulés de liège, couramment utilisé en pépinière (tableau 1). Les principales propriétés physico-chimiques des substrats avant l'ensemencement en pépinière étaient, dans l'ensemble, en faveur des substrats renfermant du compost par rapport au témoin sans compost et répondant ainsi aux normes cités par [19-22]. Les valeurs de pH ont varié entre 6,91 et 7,33 indiquant des pH neutres à légèrement alcalins, alors que leurs conductivités électriques ont été légèrement variables avec des valeurs qui oscillent entre 0,01 mS.cm⁻¹ pour les substrats témoin et le substrat T9 à 0,44 mS.cm⁻¹ pour le substrat T2. Une importante richesse en matière organique (31,4-96,4 %) a été déterminée dans les substrats à base de composts par rapport au témoin ayant affiché une teneur de 8,6 %. Les densités des substrats ont varié avec les proportions de compost et que les substrats à base de 100 % de compost étaient les plus faibles (0,23 et 0,33 g.cm⁻³), alors que celle du substrat témoin était la plus élevée (0,93 g/cm³). Les substrats à base de compost ont plus de capacité de réserve en eau que le témoin avec des valeurs oscillent entre 48,13 à 66,80 % contre 32,66 % pour le témoin.

Tableau 1
Composition et nature des substrats d'élevage testés en pépinière

Substrat	Nature du substrat
T0*	50 % Humus forestier + 50 % de granulés de liège
T1	100 % Compost pur
T2	100 % Compost + Urée
T3	100 % Compost + fumier de volailles
T4	80 % Compost pur + 10 % Granulés de liège + 10 % Sable
T5	80 % de compost + urée + 10 % Granulés de liège + 10 % Sable
T6	80 % Compost + fumier de volailles + 10 % Granulés de liège + 10 % Sable
T7	60 % Compost pur + 20 % Granulés de liège + 20 % Sable
T8	60 % Compost + urée + 20 % Granulés de liège + 20 % Sable
T9	60 % Compost + fumier de volailles + 20 % Granulés de liège + 20 % Sable

* Témoin

2.3. Conduite de l'essai

L'étude en pépinière a été conduite selon un dispositif en blocs aléatoires complets de 10 mélanges en trois répétitions. Chaque mélange a été composé de deux caissettes contenant chacune 40 conteneurs et déposées aléatoirement au sein du bloc. Le nombre total de plants de Pin pignon utilisé dans cette expérimentation a été de 2400 plants soit 240 plants par mélange. L'élevage a été conduit sur châssis surélevés à 40 cm du sol et sous une ombrière laissant passer environ 50 à 60 % d'ensoleillement. Après l'ensemencement, les soins courants de désherbage et d'arrosage ont été assurés au besoin durant tout le cycle d'élevage.

2.4. Mesures et observations

Les mesures ont concerné tout le long de l'expérimentation les paramètres suivants :

- Hauteurs des tiges et diamètres au collet : La hauteur (cm) des tiges des plants a été mesurée par une règle graduée depuis le collet jusqu'au bourgeon apical et le diamètre (mm) au collet des plants a été mesuré en même temps à l'aide d'affichage digitale d'une précision 1/100 mm. Il faut noter que, pour minimiser les risques d'erreurs d'un pied à coulisse et arriver à une grande fiabilité dans les tests statistiques, nous avons opté pour un échantillonnage optimal et réalisable de 25 % de l'effectif total, ce qui représentait un total de 600 plants mesurés à intervalle de temps fixé à deux mois de croissance. Les plants mesurés ont été choisis

aléatoirement au sein des caissettes et des blocs. Ces mêmes plants ont été suivis tout au long de l'expérimentation.

- Détermination des biomasses sèches : À la fin du cycle d'élevage, la biomasse sèche des parties aériennes et racinaires a été déterminée après séparation des deux parties puis leur pesée à l'aide d'une balance de précision au millimètre près après étuvage à 80 °C pendant 24 heures.

2.5. Étude de la capacité de régénération racinaire

Afin d'évaluer la capacité de régénération racinaire des plants de Pin pignon élevés dans les dix substrats testés, cinq plants de chaque substrat ont été aléatoirement choisis et transférés avec leurs mottes intactes dans des conteneurs plus volumineux (sachets en polyéthylène d'un volume de 4000 cm³) remplis du sable d'oued. Après 60 jours de repiquage, la capacité de régénération racinaire a été appréciée en mesurant la longueur, la biomasse et le nombre des nouvelles racines formées à l'extérieur de la motte initiale.

2.6. Comportement de plants après transplantation en parcelle expérimentale

Afin d'évaluer la performance et le comportement en site de plantation des plants de Pin pignon élevés en pépinière, un deuxième dispositif expérimental a été installé en parcelle expérimentale sise à proximité de la pépinière. À cet effet, neuf plants de chaque substrat âgés

d'une année ont été aléatoirement choisis et transplantés avec leur motte en trous de plantation de 50 cm × 50 cm × 50 cm d'arête ouverts à la pioche. Le dispositif expérimental adopté était de type bloc aléatoire complet à trois répétitions comptabilisant un total de 90 plants. Les plants produits dans l'humus forestier ont servi comme un témoin. Les plants n'ont pas été fertilisés et n'ont bénéficié d'aucun autre entretien.

Les paramètres de suivi de la plantation sont :

- Taux de reprise : la reprise des plants de chaque mélange a été déterminée après une année de transplantation ;
- Taux de survie : elle a été déterminée chaque année à partir de la deuxième année pendant cinq ans en déduisant le nombre de plants morts du total des plants mis en terre ;
- Hauteur et diamètre au collet : ils ont été pris au moment de la mise en terre des plants une fois par an durant cinq années.

2.7. Analyse des données

Les données relevées au cours de cette expérimentation concernant la croissance et la capacité de régénération racinaire des plants de Pin pignon ont été interprétées statistiquement par une analyse de variance à un seul facteur de variation (substrat). Dans le cas où les différences étaient significatives, le test de Newman-Keuls a été utilisé pour classer les substrats par groupes homogènes au seuil de probabilité de 5 %. Par ailleurs, afin d'évaluer la corrélation entre les taux de reprise et de survie et les paramètres de croissance mesurés après transplantation, nous avons procédé au calcul du coefficient de corrélation de Pearson. Les analyses ont été effectuées par le logiciel XLSTAT.

3. Résultats

3.1. Caractéristiques dimensionnelles des plants

Les hauteurs et les diamètres au collet mesurés à quatre intervalles de temps (60, 100, 140 et 190 jours) après le semis en pépinière sont représentés dans les figures 1 et 2. L'analyse de variance a révélé des différences significatives dès la première mesure pour les hauteurs alors que pour les diamètres les différences significatives n'apparaissent qu'à partir de la troisième mesure ($P < 0,001$). Les résultats obtenus pour le paramètre hauteur ont montré que les plants des substrats à base du compost étaient visiblement plus grands que les plants du substrat témoin sans compost dès le début de l'expérimentation (photo 1). Entre les trois composts testés, les plants élevés dans les substrats à base de compost + fumiers de volailles ont affiché une meilleure croissance en hauteur avec des valeurs oscillant entre 28,96 et 30,63 cm à la fin du cycle d'élevage. Avec une hauteur de 18,89 cm, les plants élevés dans le mélange témoin ont affiché un retard de croissance par rapport aux plants des substrats à base de compost. Pour ce qui est des diamètres, les plants élevés dans les mélanges à base de compost ont atteint des diamètres en fin cycle d'élevage oscillant entre 4,05 et 5,41 mm alors que les plants du témoin n'ont atteint que 3,03 mm en diamètre.

Les rapports H/D qui nous renseignent sur l'équilibre de croissance en hauteur par rapport à la croissance en diamètre traduisant la vigueur et la stabilité du plant [23,24], n'ont pas montré de grandes différences entre les différents substrats. Les plants produits dans les substrats contenant du compost avaient des rapports oscillant entre 5,65 et 6,79 alors que les plants du témoin ont affiché un rapport de 6,20 (figure 3).

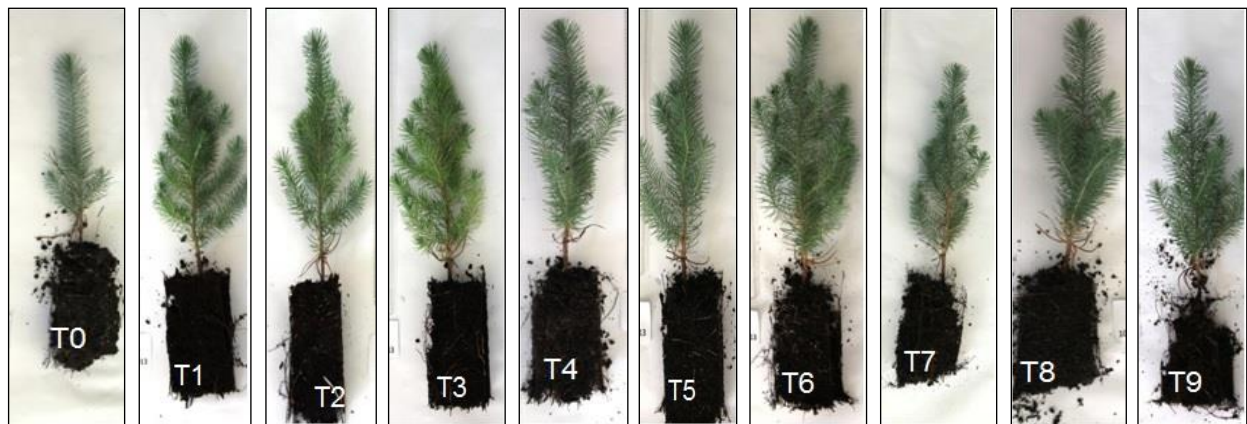


Photo 1 : Plants de Pin pignon en fin du cycle d'élevage en pépinière.

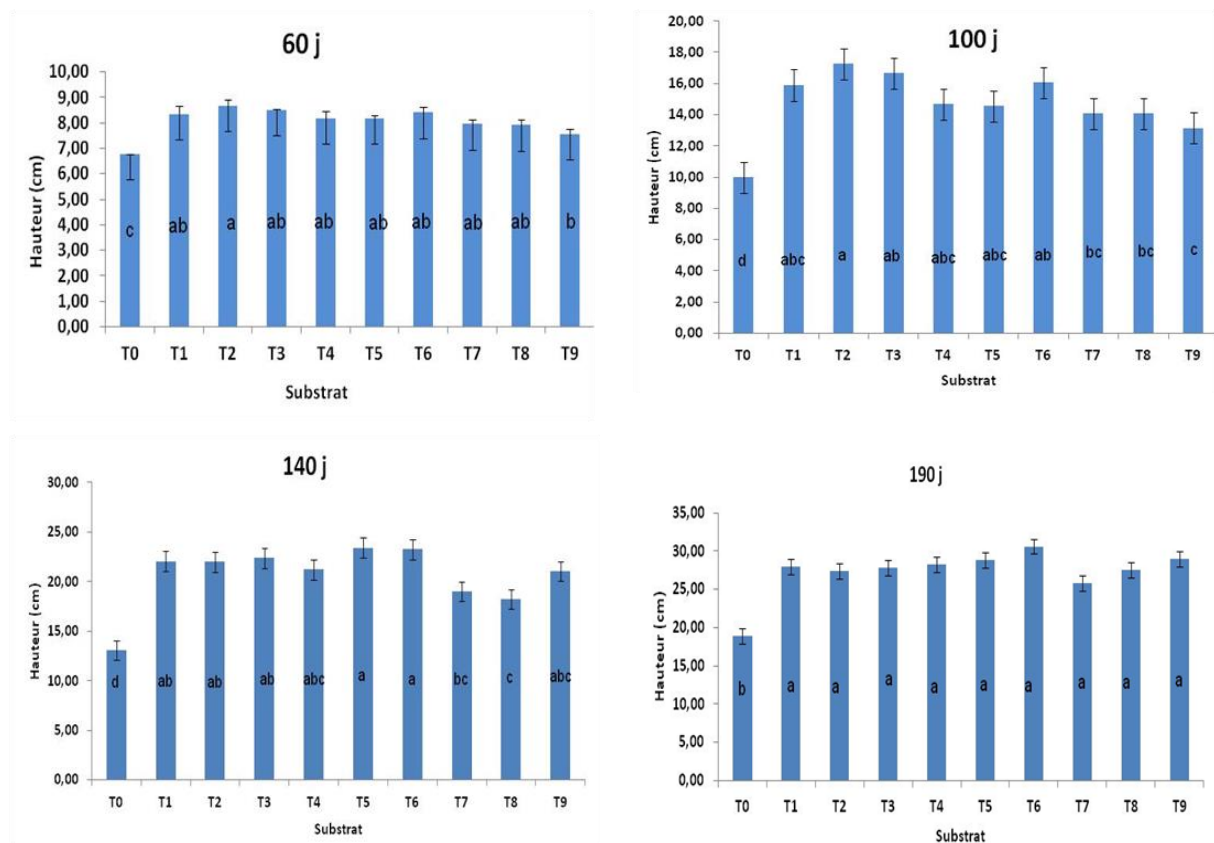


Figure 1 : Évolution de la croissance en hauteur des plants de Pin pignon produits dans différents substrats.

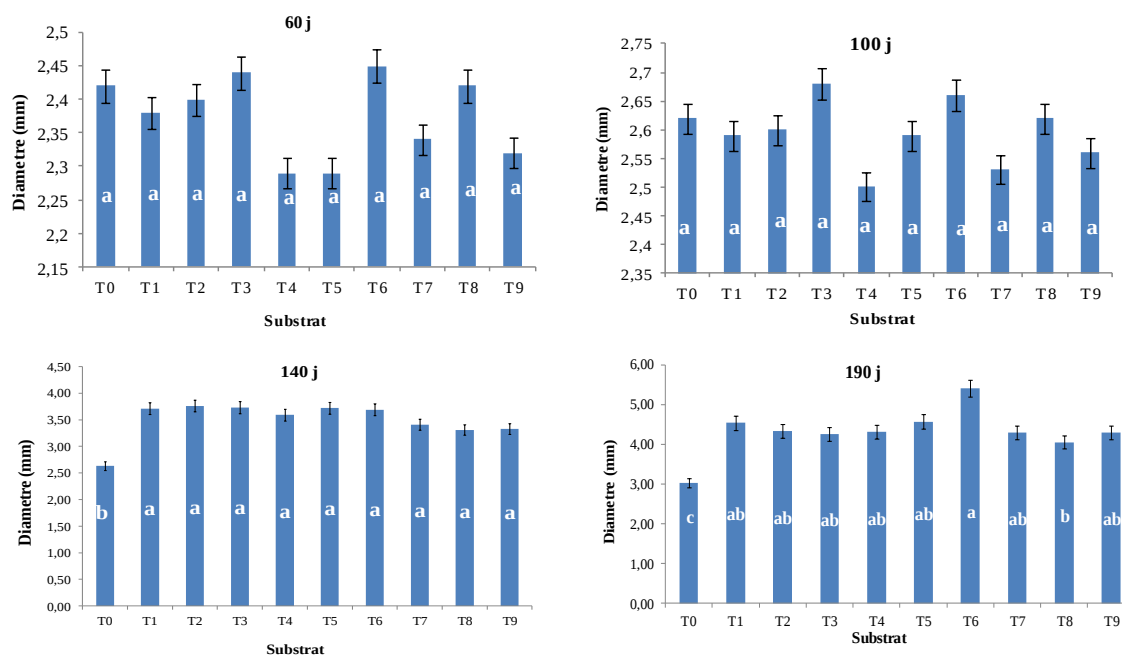


Figure 2 : Évolution de la croissance en diamètre des plants de Pin pignon produits dans différents substrats.

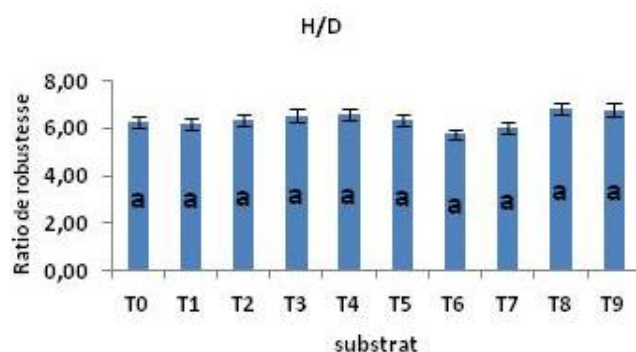


Figure 3 : Ratios de robustesse des plants de Pin pignon en fin du cycle d'élevage.

3.2. Production de biomasse

Les résultats des biomasses aérienne et racinaire exprimés en matière sèche déterminés en fin du cycle d'élevage sont synthétisés dans le tableau 2. Bien que les valeurs mesurées après 190 jours du semis ne fussent pas statistiquement différents, les plants des substrats renfermant du compost ont produit plus de matière sèche aérienne avec des valeurs oscillant entre 3,76 et 5,94

g.MS⁻¹ que le témoin sans compost avec une valeur de 1,93 g.MS⁻¹. Parmi les trois composts produits, le compost Acacia + fumiers a donné les meilleurs résultats par rapport aux deux autres composts. Pour les biomasses racinaires, ce sont les substrats à base de du compost + urée (100, 80 et 60 %) qui ont donné les meilleures productions de matière sèche. Le substrat témoin a enregistré toujours les valeurs les plus faibles.

Tableau 2
Biomasses sèches et ratios des tiges/racines des plants de Pin pignon en fin du cycle d'élevage en pépinière

Mélanges	Biomasse aérienne (g.MS ⁻¹)	Biomasse racinaire (g.MS ⁻¹)	BA/BR
T0	1,93 ± 0,88a	1,82 ± 0,74a	1,06 ± 0,53a
T1	5,19 ± 0,87a	2,39 ± 0,76a	2,13 ± 0,55a
T2	3,76 ± 1,06a	2,83 ± 0,76a	1,32 ± 0,48a
T3	5,08 ± 1,65a	2,11 ± 0,84a	2,40 ± 0,16a
T4	4,84 ± 1,39a	2,43 ± 0,89a	1,99 ± 1,55a
T5	5,15 ± 0,74a	3,13 ± 0,82a	1,64 ± 0,51a
T6	5,94 ± 1,57a	2,95 ± 0,72a	2,01 ± 0,48
T7	4,57 ± 0,99a	3,08 ± 0,47a	1,48 ± 0,15a
T8	4,69 ± 0,75a	4,13 ± 0,60a	1,13 ± 0,12a
T9	4,49 ± 0,92a	3,14 ± 0,72a	1,42 ± 0,09a
F observé	0,926 ^{NS}	0,671 ^{NS}	1,006 ^{NS}

Les chiffres suivis de la même lettre ne sont pas significativement différents selon le test de Newman et Keuls à P=0,05. NS : Effet non significatif ; * : Effet significatif à 5 % ;

** : Effet significatif à 1 % ; *** Effet significatif à 0,1 % ; BA : Biomasse aérienne ;

BR : Biomasse racinaire

3.3. Capacité de régénération racinaire

Les résultats relatifs aux émissions de nouvelles racines des plants de Pin pignon issus des 10 substrats testés sont rapportés dans le tableau 3. L'analyse statistique a décelé des différences significatives pour les paramètres élongation et biomasse des nouvelles racinaires émises. En effet, les nouvelles racines des plants élevés dans les substrats contenant du compost ont affiché de meilleurs allongements avec des moyennes variant de 20,53 à 37,28 cm par rapport au témoin avec

un allongement moyen de 20,18 cm. De même, le nombre de nouvelles racines émises par les racines des plants des substrats à base de compost a varié entre 9 et 16 contre 9 pour le témoin. Les plants élevés dans les substrats à 100 % compost ont développé plus de biomasse racinaire par rapport aux autres substrats à base de compost avec des valeurs oscillant entre 1,42 et 4,05 g. Entre les trois composts étudiés, le nombre le plus élevé de nouvelles racines a été enregistré dans les substrats à base de compost avec fumiers de volailles (photo 2).

Tableau 3
Capacité de régénération racinaire des plants de Pin pignon.

Mélanges	Nombre de nouvelles racines	Longueur moyenne (cm)	Biomasse totale (g.MS ⁻¹)
T0	09 ± 2, 60a	20, 18 ± 3, 60b	0, 31 ± 0, 08bc
T1	10 ± 1, 29a	37, 28 ± 2, 97a	4, 05 ± 0, 68a
T2	13 ± 1, 28a	30, 8 ± 1, 17ab	1, 72 ± 0, 49b
T3	15 ± 0, 80a	29, 68 ± 2, 97ab	1, 42 ± 0, 25bc
T4	09 ± 1, 44a	25, 4 ± 3, 61b	0, 70 ± 0, 36bc
T5	15 ± 2, 48a	26, 5 ± 1, 95b	0, 69 ± 0, 10bc
T6	16 ± 3, 12 a	20, 53 ± 2, 31b	0, 54 ± 0, 10bc
T7	13 ± 1, 89a	25, 33 ± 2, 01b	0, 34 ± 0, 04bc
T8	09 ± 0, 97a	24, 29 ± 2, 22b	0, 42 ± 0, 05bc
T9	14 ± 1, 19a	26, 28 ± 2, 04b	0, 27 ± 0, 04c
F observé	2, 18 NS	4, 02**	14, 18***
	6 NS	NS	NS

Les chiffres suivis de la même lettre ne sont pas significativement différents selon le test de Newman et Keuls à P=0,05

NS : Effet non significatif ; * : Effet significatif à 5 % ; ** : Effet significatif à 1 % ; *** : Effet significatif à 0,1 %

Citation : Mebarek CHOUIAL et Samir BENAMIROUCHE, Essai de valorisation de compost d'Acacia cyanophylla pour la production de plants de Pin pignon (*Pinus pinea* L.) : Résultats en pépinière et après cinq ans de transplantation, Revue Nature et Technologie, 14 (1) (2022) : 31-44.

<https://www.asjp.cerist.dz/en/Articles/47>

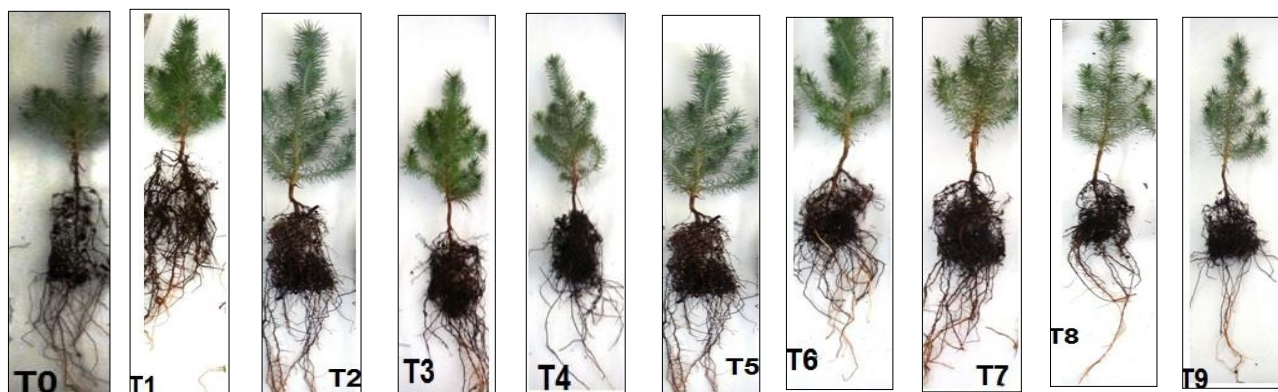


Photo 2 : Régénération de nouvelles racines de plants de Pin pignon après 60 jours le repiquage dans le sable

3.4. Comportement des plants après transplantation

3.4.1. Taux de reprise

La figure 4 présente les taux de reprise obtenus après une année de transplantation de jeunes plants de Pin pignon élevés dans les différents substrats. Les taux de reprise enregistrés ont varié de 66,66 à 100 % chez les plants élevés dans les substrats à base de compost et de 77,77 % chez les plants élevés dans le témoin à base d'humus forestier.

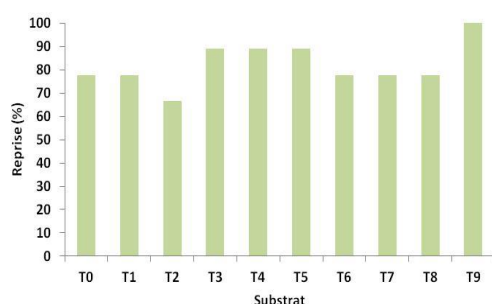


Figure 4 : Taux de reprise des plants de Pin pignon après une année de transplantation.

3.4.2. Taux de survie

La figure 5 présente les taux de survie sur le terrain évalués après 2, 3, 4 et 5 années de croissance de jeunes plants de Pin pignon élevés dans les dix différents substrats. Dans l'ensemble, les taux moyens de survie enregistrés sont très satisfaisants et dépassant les 90 %. En effet, après 2 années croissance, le taux moyen de survie enregistré chez les plants des substrats à base de compost a été de l'ordre de l'ordre de 97,36 % contre 100 % pour les plants élevés dans le témoin. Après 3 années de transplantation, la survie était nettement supérieure chez les plants élevés en compost (96,05 %) que chez les plants du témoin (85,71 %). Après 4 et 5 années de croissance sur le terrain, les taux de survie ont atteint 94,73 % pour les plants élevés dans les substrats à base de compost et de 85,71 % pour les plants du témoin. En plus, le test de corrélation a montré que la survie des plants est positivement corrélée avec les attributs diamètre au collet ($r = 0,57$) et capacité de régénération racinaire exprimée en nombre des racines néoformées ($r = 0,71$) mesurés en pépinière.

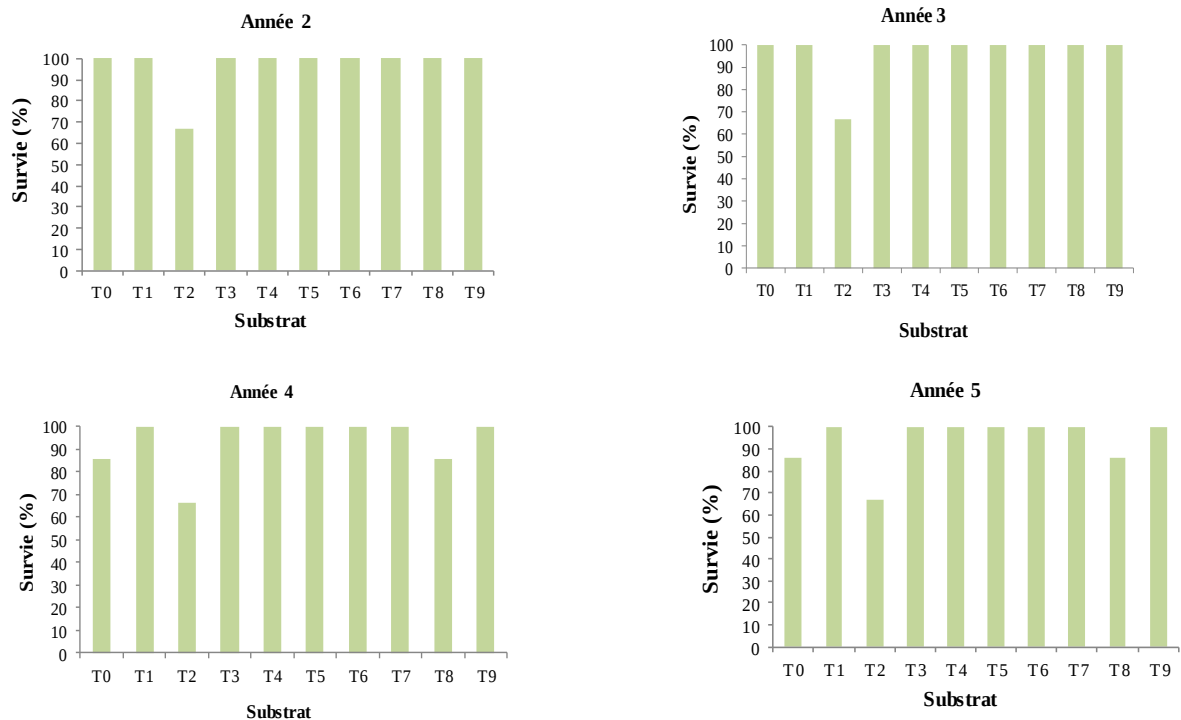


Figure 5 : Taux de survie des plants de Pin pignon produits dans différents substrats après transplantation.

3.4.3. Croissance en hauteur

Les résultats analysés statistiquement de la hauteur moyenne des jeunes plants de Pin pignon mesurée chaque année depuis la transplantation sont résumés dans le tableau 4.

Une année après transplantation, les différences significatives des hauteurs enregistrées à la sortie de la pépinière se sont maintenues. Les plants du substrat témoin T0 ont affiché une hauteur moyenne de 33,17 cm contre 37,20 cm pour les plants des substrats à base de compost.

À partir de la deuxième année, les différences de hauteur enregistrées se sont maintenues mais à des seuils non significatifs. Les plants du substrat témoin T0 ont accusé un retard de croissance par rapport aux plants des

substrats à base de compost. Entre les trois composts testés, les substrats composés de compost et fumiers de volailles ont donné les meilleures hauteurs des tiges par rapport aux autres composts avec des hauteurs moyennes de 60,44 ; 51,33 et 63,99 cm enregistrées respectivement pour les substrats T3, T6 et T9.

À la troisième année, les plants des substrats à base de 100 % de compost ont enregistré des hauteurs moyennes de l'ordre de 89,94 cm par rapport aux autres substrats ayant donné des hauteurs comprises entre 61 et 91 cm. Cette performance des plants, se confirme à la quatrième et la cinquième année en atteignant des hauteurs moyennes de 113 cm. Les plants élevés dans le substrat témoin ont affiché une hauteur moyenne de 76,27 cm.

Tableau 4

Effet du substrat de culture sur la hauteur moyenne des plants de Pin pignon après plantation.

Substrat	Hauteur moyenne des plants (cm)					
	A la sortie de pépinière (cm)	Année 1	Année 2	Année 3	Année 4	Année 5
T0	20,66 ± 0,69 ^e	33,17 ± 2,12 ^{bc}	47,05 ± 0,48 ^a	76,27 ± 5,50 ^a	97,27 ± 7,05 ^a	174,41 ± 16,69 ^a
T1	27,55 ± 0,89 ^{cd}	37,37 ± 0,92 ^{abc}	60,44 ± 4,51 ^a	91,33 ± 10,28 ^a	106,10 ± 11,25 ^a	177,03 ± 31,43 ^a
T2	27,00 ± 0,58 ^{cd}	34,53 ± 2,74 ^{abc}	50,50 ± 5,85 ^a	91,00 ± 4,94 ^a	117,00 ± 14,16 ^a	220,33 ± 11,27 ^a
T3	29,94 ± 0,39 ^{abc}	39,11 ± 1,94 ^{ab}	60,44 ± 8,69 ^a	87,50 ± 12,02 ^a	116,05 ± 16,64 ^a	200,08 ± 13,52 ^a
T4	25,84 ± 1,27 ^d	35,87 ± 1,33 ^{abc}	55,33 ± 6,53 ^a	76,55 ± 6,09 ^a	102,66 ± 11,75 ^a	196,83 ± 0,54 ^a
T5	31,05 ± 1,64 ^{ab}	39,12 ± 1,22 ^{ab}	57,22 ± 1,87 ^a	83,83 ± 3,77 ^a	107,27 ± 4,10 ^a	112,16 ± 9,02 ^a
T6	32,49 ± 0,67 ^a	40,05 ± 1,29 ^{ab}	51,33 ± 4,77 ^a	71,16 ± 6,94 ^a	93,83 ± 4,29 ^a	173,71 ± 5,84 ^a
T7	26,72 ± 0,78 ^{cd}	36,11 ± 0,94 ^{abc}	52,08 ± 4,12 ^a	73,22 ± 3,56 ^a	111,72 ± 13,12 ^a	159,55 ± 12,99 ^a
T8	26,55 ± 0,39 ^{cd}	31,287 ± 1,60 ^c	45,50 ± 7,24 ^a	69,16 ± 9,56 ^a	94,50 ± 14,04 ^a	171,16 ± 22,53 ^a
T9	29,05 ± 0,24 ^{bcd}	41,40 ± 1,34 ^a	63,99 ± 3,93 ^a	91,22 ± 2,46 ^a	114,22 ± 7,87 ^a	204,38 ± 13,68 ^a

Pour chaque colonne, les valeurs moyennes par traitement suivies de lettres toutes différentes indiquent une différence significative au seuil de 5 % selon le test de Newman et Keuls

3.4.4. Croissance en diamètre

L'analyse des données du tableau 5 montre que l'évolution des diamètres au collet des plants après transplantation est sensiblement identique à celle des hauteurs. En effet, Après la première année et la deuxième année de croissance sur le terrain, les plants élevés dans les substrats à base de compost ont pris le dessus en atteignant des diamètres significativement supérieurs à ceux des plants du substrat témoin T0. Entre les trois composts, les plants élevés sur le compost +

fumier ont enregistré les meilleurs résultats avec des diamètres moyens de 14 mm après de 2 années de transplantation. Après la troisième année de croissance sur le terrain, les différences se sont maintenues entre les plants des substrats à base du compost et ceux du témoin mais avec des différences non significatives. A la cinquième année de croissance, les plants du substrat T5 ont affiché le diamètre moyen maximal de 63,33 mm, tandis que les plants du substrat témoin ont affiché le diamètre moyen minimal de 47,60 mm.

Tableau 5

Effet du substrat de culture sur le diamètre moyen des plants de Pin pignon après plantation.

Substrat	Diamètre moyen des plants (cm)					
	A la sortie de pépinière (cm)	Année 1	Année 2	Année 3	Année 4	Année 5
T0	4,45 ± 0,14 ^d	6,31 ± 0,56 ^d	9,14 ± 1,76 ^b	16,84 ± 2,44 ^a	33,613 ± 6,84 ^a	47,60 ± 5,62 ^a
T1	6,86 ± 0,10 ^{ab}	10,06 ± 0,80 ^{ab}	15,84 ± 1,86 ^a	25,20 ± 2,63 ^a	38,930 ± 2,59 ^a	61,52 ± 6,49 ^a
T2	6,17 ± 0,34 ^{bc}	8,25 ± 0,36 ^{bcd}	13,14 ± 1,17 ^{ab}	19,18 ± 3,22 ^a	38,397 ± 6,60 ^a	47,44 ± 9,65 ^a
T3	7,86 ± 0,43 ^a	10,27 ± 0,41 ^{ab}	13,94 ± 0,65 ^{ab}	22,56 ± 0,99 ^a	43,93 ± 3,98 ^a	53,16 ± 5,03 ^a
T4	6,69 ± 0,21 ^{ab}	9,50 ± 0,22 ^{ab}	13,62 ± 0,30 ^{ab}	22,75 ± 0,62 ^a	40,41 ± 4,48 ^a	52,64 ± 2,59 ^a
T5	6,88 ± 0,04 ^{ab}	10,90 ± 0,93 ^a	14,79 ± 0,71 ^{ab}	25,49 ± 1,79 ^a	45,99 ± 6,72 ^a	63,33 ± 8,72 ^a
T6	7,57 ± 0,31 ^{ab}	9,89 ± 0,63 ^{ab}	13,58 ± 1,57 ^{ab}	20,78 ± 1,40 ^a	36,27 ± 5,21 ^a	50,53 ± 6,86 ^a
T7	6,65 ± 0,51 ^{ab}	9,15 ± 0,23 ^{abc}	12,04 ± 0,80 ^{ab}	18,62 ± 2,54 ^a	32,01 ± 3,96 ^a	43,14 ± 5,50 ^a
T8	5,46 ± 0,43 ^c	7,25 ± 0,51 ^{cd}	11,17 ± 0,90 ^{ab}	17,40 ± 1,66 ^a	30,77 ± 3,92 ^a	43,62 ± 6,27 ^a
T9	6,76 ± 0,4 ^{ab}	9,66 ± 0,46 ^{ab}	14,10 ± 0,71 ^{ab}	22,73 ± 0,65 ^a	41,86 ± 4,62 ^a	53,45 ± 2,32 ^a

Pour chaque colonne, les valeurs moyennes par traitement suivies de lettres toutes différentes indiquent une différence significative au seuil de 5 % selon le test de Newman et Keuls.

5. Discussion

Les travaux menés dans le cadre de ce travail ont permis de montrer que l'évaluation des paramètres de croissance des plants Pin pignon révèle que les substrats à base de compost des branches d'*Acacia cyanophylla*, constituent une excellente solution de substitution aux substrats à base d'humus forestiers.

En effet, l'évaluation des caractéristiques dimensionnelles des plants issus des différents substrats testés a permis de montrer une variabilité significative des paramètres mesurés. Les plants cultivés dans le substrat témoin ont affiché une hauteur moyenne la plus faible (18,89 cm) et même inférieure aux normes de qualification des plants [24]. Par contre, les plants cultivés dans les substrats à base de compost ont montré des performances morphologiques remarquables et très proches entre elles. Bien que les plants des substrats à base de compost d'*Acacia* + fumiers de volailles aient affiché une légère supériorité pour ce paramètre. Les plants produits dans le compost ont répondu, dans l'ensemble, aux normes de qualité citées pour cette espèce [24].

De même, les résultats de la croissance en diamètre des plants de Pin pignon vont dans le même sens que la croissance en hauteur. En effet, les substrats à base de compost ont donné les meilleurs diamètres au collet moyens par rapport aux plants du substrat témoin.

Les résultats obtenus pour le ratio de robustesse : hauteur/diamètre ont montré que les plants produits dans les substrats à base de compost ont affiché un H/D correspondant aux normes communément admises pour les pins < 7 [24].

Pour ce qui est de la production de matière sèche, la biomasse aérienne était en moyenne 4,85 g/plant chez les plants issus des substrats à base de compost et 1,93 g/plant pour le témoin. Alors que la biomasse racinaire était en moyenne 2,91 g/plant pour les substrats à base de compost contre 1,82 g/plant pour le substrat témoin. Les meilleurs ratios des biomasses PA/PR ont été obtenu par les substrats à base de compost et fumiers de volailles T3, T6 et T9, les quels étaient très proches à la norme admissible pour la production de plants en conteneurs (2g/g) citée par Lamhamedi *et al.* [8].

Le test de capacité de régénération de nouvelles racines constitue un bon indicateur de performance des plants après transplantation [25]. Les résultats obtenus

ont montré la nette supériorité de substrats à base de compost par rapport au témoin sans compost. En effet, les plants élevés dans les substrats à base de compost ont généré plus de masse racinaire ($0,70 \text{ g.MS}^{-1}$ en moyenne) que les plants élevés dans le témoin (0,28 g). Ces résultats de capacité de régénération racinaire corroborent avec ceux obtenus par nos travaux antérieurs sur le chêne liège [17] et celle d'Ammari *et al.* [26].

Le taux de reprise obtenus après une année de transplantation des jeunes plants de Pin pignon élevés dans les différents substrats était satisfaisant dans l'ensemble, il était en moyen de 82,22 % contre 95 % pour le chêne liège [18]. Ce résultat est en concordance avec ceux d'Ammari *et al.* [27], qui ont enregistré un taux de reprise oscillant de 76 à 89 % pour la même espèce après une année de transplantation. La reprise était plus élevée chez les plants élevés en compost (82,71 %) que chez les plants du témoin (77,77 %). Ceci confirme l'effet prolongé de la nature et de la composition des substrats sur la reprise des plants de Pin pignon et consolident les résultats de la capacité de régénération racinaire mesurée en pépinière. En outre, le test de corrélation réalisé a montré que la reprise des plants était faiblement corrélée avec les variables diamètre au collet ($r = 0,35$) et capacité de régénération racinaire exprimée par le nombre de nouvelle racines néoformées ($r = 0,22$). En revanche, ce résultat contrarie celui obtenu pour le chêne liège où le taux de reprise après une année était positivement corrélé avec le diamètre au collet ($r = 0,83$) et le rapport H/D ($r = 0,69$) [17].

La survie des plants élevés dans les substrats à base de compost est estimée à 97,36 % contre 100 % pour les plants élevés dans le substrat témoin avec des différences non significatives. À la fin de la cinquième année, le taux de survie moyen était nettement supérieur pour les plants élevés dans les substrats à base de compost (94,73 %) par rapport aux plants élevés dans le substrat témoin (85,71%).

De plus, le test de corrélation réalisé a montré que la survie des plants était positivement corrélée avec les variables diamètre au collet ($r = 0,57$), rapport H/D ($r = 0,69$) et capacité de régénération racinaire ($r = 0,71$) mesurés en pépinière. Ce résultat confirme l'effet prolongé des substrats utilisés en pépinière sur la survie des plants même à un âge assez avancé de cinq années [27].

Plusieurs travaux ont montré que l'effet de la nature des substrats de culture ne se limite pas à la survie, mais affecte aussi les paramètres de croissance des plants tels que la hauteur et le diamètre au collet [28-30]. L'évolution de ces paramètres de croissance en site de plantation a varié en fonction des substrats de culture. En effet, la croissance des plants de Pin pignon élevés dans les substrats à base de compost était plus importante que celle des plants du substrat témoin avec des différences significatives durant les deux premières années de croissance. Les plants des substrats à base de compost d'Acacia + fumiers de volailles ont affiché une légère supériorité pour les paramètres mesurés, confirmant effectivement la supériorité de régénération racinaire observée en phase pépinière.

En plus, le test de corrélation réalisé a montré que la croissance initiale des plants après une année de plantation était positivement corrélée avec la capacité de régénération racinaire et les paramètres de croissance ; diamètre au collet ($r = 0,64$) et hauteur ($r = 0,77$). Ceci démontre que les substrats à base de compost permettent une meilleure régénération racinaire offrant un meilleur potentiel de croissance et de survie pour les plants dès qu'ils sont mis en contact avec le sol [30, 26]. Aussenec *et al.* [31], notaient que le type de substrat joue un rôle important sur la qualité des plants et leur réussite en site de plantation.

Bien que les paramètres mesurés lors des trois dernières mesures effectuées après la troisième, la quatrième et la cinquième année plantation ne fussent pas statistiquement différentes, les plants des substrats renfermant du compost d'Acacia + fumiers de volailles étaient visiblement plus grands que les plants des autres substrats dès le début de l'essai. Après 5 années de plantation, les plants élevés dans les substrats à base de compost d'Acacia + fumiers ont atteint une hauteur moyenne de 192,72 cm et un diamètre moyen de 52,38 mm alors que les plants du témoin n'ont atteint que 174,71 cm en hauteur et 47,60 mm en diamètre.

De manière générale, on constate que les plants élevés dans les substrats à base de compost d'Acacia + fumiers de volailles étaient plus hauts en pépinière et ils ont conservé cet avantage tout le long de la période d'établissement sur le terrain, cela peut être expliqué par la richesse du fumier de volailles en azote qui joue un rôle nutritif et stimulant de la croissance.

6. Conclusion

Le présent travail constitue une contribution novatrice vers la modernisation progressive des pratiques culturales adoptées de façon empirique dans nos pépinières, notamment en matière des supports d'élevage. À cet effet, l'incorporation du compost dans la confection des substrats d'élevage offre de meilleures conditions de croissance aux plants de Pin pignon par rapport aux plants du témoin. En effet, les substrats à base de compost ont permis de réaliser des gains significatifs de croissance allant de 28 à 38 % en hauteur, de 25 à 44 % en diamètre et de 48 à 62 % en biomasse sèche aérienne par rapport aux plants du témoin. De plus, l'élevage en compost permet de réduire les coûts engendrés par les moyens de lutte contre les agents pathogènes et les mauvaises herbes associés à l'élevage dans l'humus forestier.

En site de transplantation, nos observations ont montré que les substrats de culture à base de compost ont un effet significatif sur la reprise, survie et la croissance initiale des plants de Pin pignon en site de plantation.

D'après les propriétés morphologiques principales, mesurées en plantation expérimentale, les plants de Pin pignon produits dans les substrats à base de compost d'acacia + fumiers de volailles étaient les plus performants, au vu du bilan de cinq ans de survie et de croissance des plants en site de plantation par comparaison à ceux produits dans le substrat témoin. Ce résultat montre l'intérêt de l'utilisation en pépinière des substrats de culture ayant des propriétés chimiques et physiques plus favorables à la croissance en pépinière et permettant une meilleure reprise après plantation que les substrats classiques, ce qui contribuera à minimiser les dépenses engendrées par les opérations de regarnis.

Références

- [1] Mustin M., Le compost, Gestion de la matière organique. Ed. François Dubusc, Paris, 1987. 954 p.
- [2] Miller J.H., Jones N., Organic and compost-based growing media for tree seedlings nurseries. Washington, DC, USA, World Bank Technical papers, 264, 1995, 75 p
- [3] Benamirouche S., Chouial M., Chouial A., Roula B., Younsi S., Production de compost à base de branches d'*Acacia cyanophylla* Lindl, La forêt Algérienne, 9 (2014) : 18-25
- [4] Lemaire F., Dartigues A., Rivières L.M., Charpentier S., 1989. Culture en pots et conteneurs. Principes agronomiques et applications. INRA, 181 p. ISBN : 2-7380-1030-X
- [5] Landis T.D., Containers and Growing Media. Chapter 2: Growing Media, In: The Container Tree Nursery Manual. Agricultural

- Handbook, Washington DC, US Department of agriculture, Forest service, 2 (1990): 41-85. Disponible en ligne : <http://www.nurserycropscience.info/management/shipping/other-references/container-tree-nursery-manual-chap-2.pdf/view> (accédé le 01/03/2021)
- [6] Rose R, Haase DL, Boyer D., Organic Matter Management in Forest Nurseries: Theory and Practice. Nursery Technology Cooperative. Oregon State University, Corvallis, OR, 1995. 65 p. Disponible en ligne : <https://rngr.net/publications/omm> (accédé le 01/03/2021)
- [7] Ammari Y. ; Lamhamedi M.S. ; Zine El Abidine A., Akrimi N., Production et croissance des plants résineux dans différents substrats à base de compost dans une pépinière forestière moderne en Tunisie, Rev. For. Fr., 59 (4) (2007) : 339-358. <https://doi.org/10.4267/2042/9858>
- [8] Lamhamedi M.S., Fecteau B., Godin L., Gingras C.H., El Aini R., Gader G.H., Zarrouk M.A., Guide pratique de production hors sol de plants forestiers, pastoraux et ornementaux en Tunisie. Projet : ACIDI E4936-K061229. Direction Générale des Forêts, Tunisie et Pampev internationale Ltée©, Canada, 2006. 114 p. Disponible en ligne : <https://mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Lamhamedi-Mohammed/Guide-production-hors-sol-Tunisie.pdf> (accédé le 05/01/2021)
- [9] Aylaj M. et Lhadi E.K., Évaluation de la stabilité et la maturité des composts obtenus par biodégradation aérobie d'un mélange de déchets ménagers et de déchets de poulets. Déchets. Revue francophone d'écologie industrielle, 50 (2) (2008) : 25-32. Disponible en ligne : http://odel.irevues.inist.fr/dechets-sciences-techniques/docannexe/file/1467/5_aylaj.pdf (accédé le 04/03/2021)
- [10] M'Sadak Y., Elouaer M.A., El kamel R., Évaluation des substrats et des plants produits en pépinière forestière, Revue bois et Forêts des tropiques, 313 (3) (2012) : 61-71. <https://doi.org/10.19182/bft2012.313.a20497>
- [11] M'Sadak Y., Elouaer M.A., El Kamel R., Évaluation du comportement chimique des composts, des tamisats et des mélanges élaborés pour la conception des substrats de culture. Revue Nature et Technologie, 8 C (2013a) : 54-60. Disponible en ligne : https://www.univ-chlef.dz/revuenatec/Art_08_C_08.pdf (accédé le 01/03/2021)
- [12] M'Sadak Y., Hamdi W., Zaalani Ch., Production et croissance des plants d'Acacia sur des substrats à base de tamisat de compost dans une pépinière hors sol (Tunisie), Agriculture, 4 (2) (2013b) : 29-34. Disponible en ligne : <http://193.194.91.150:8080/en/article/5922> (accédé le 10/03/2021)
- [13] M'Sadak Y., Elouaer M. A., Caractérisations physique et hydrique des substrats de croissance à base de compost pour pépinières forestières, Agriculture, 11(2016) : 55-68. Disponible en ligne : <https://revue-agro.univ-setif.dz/documents-agri/numero11-2016/MocoSadak-et-Elouaer.pdf> (accédé le 15/03/2021)
- [14] Bembli H., M'Sadak Y., Évaluations directe et indirecte des substrats de culture issus de tourbe en mélange avec compost sylvoicole pour la production des plants de Tomate, Revue Agriculture, 8 (1) (2017) : 18 – 30. Disponible en ligne. <https://www.asjp.cerist.dz/en/article/31380> (accédé le 05/02/2021)
- [15] Lamhamedi M.S., Fortin J.A., La qualité des plants forestiers: critères d'évaluation et performances dans les sites de reboisement. In : Actes de la première journée nationale sur les plants forestiers, Salé, 03/06/1992. Ed. Abourouh M., Centre de Recherche et d'Expérimentation Forestières, Rabat, Maroc : (1994) :35-50. ISBN : 9981824046 9789981824041.
- [16] Lamhamedi M.S., Bertrand S., Fecteau B., 2000, Fondements théoriques et pratiques du compostage des branches et des écorces des essences forestières et leur utilisation dans les pépinières forestières en Tunisie. Projet Fonds Nordique NIB/NDF. Direction générale des forêts, Tunisie. Pampev Internationale, Montréal, Canada, 35 p. Disponible en ligne. <https://mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Lamhamedi-Mohammed/Guide-production-hors-sol-Tunisie.pdf> (accédé le 05/01/2021)
- [17] Benamirouche S., Chouial M., Essai de production et de valorisation de compost d'Acacia cyanophylla pour la production de plants de chêne liège (*Quercus suber* L.). Résultats en pépinière et après transplantation, Dech. Sci. Tech., 76 (2018) : 21-32. <https://dx.doi.org/10.4267/dechets-sciences-techniques.3729>
- [18] Chouial M., Benamirouche S., Guerchi W., Production et évaluation du compost d'Acacia cyanophylla Lindl et de broussaille forestière pour la confection des substrats de culture, Agriculture and Forestry Journal, 2 (1) (2018) : 36-47. Disponible en ligne : <https://ojs.univ-tlemcen.dz/index.php/AFJ/article/view/295> (accédé le 02/01/2021)
- [19] Argillier C., Falconnet G., Gruez J., Production de plants forestiers méditerranéens hors-sol, In Guide du forestier méditerranéen français. Chapitre 6, Éditions CEMAGREF (Aix en Provence), 1999. 140 p.
- [20] Foucard J.C., Filière pépinière : de la production à la plantation, Technique et documentation-Lavoisier, 1994. 395 p. ISBN 10 : 2743010940
- [21] Gobat J.M., Aragno M., Matthey W., Le sol vivant. Bases de la pédologie. Biologie des sols. Presses polytechniques et universitaires Romandes. Collection Gérer l'environnement, 14, 1998.519 p. <https://doi.org/10.7202/011320ar>
- [22] Comine B., Dominique C., Les plantations d'alignement le long des routes, chemins, canaux, allées Collection mission du paysage. Institut pour le Développement Forestier IDF, 1988. 416p.
- [23] Lamhamedi M.S., André Fortin J., Ammari Y., Ben Jelloun S., Poirier M., Fecteau B., Bougacha A., Godin L., Évaluation des composts, des substrats et de la qualité des plants (*Pinus pinea*, *Pinus halepensis*, *Cupressus sempervirens* et *Quercus suber*) élevés en conteneurs. Projet Bird 3601. Exécution des travaux d'aménagement de trois pépinières pilotes en Tunisie, Direction Générale des Forêts, Tunisie, Pampev Internationale Ltée. 1997. 121p.
- [24] Lamhamedi M.S., Ammari Y., Fecteau B., Fortin J.A., Margolis H.A., Problématique des pépinières forestières en Afrique du Nord et stratégies d'orientation, Cahiers Agricultures, 9 (5) (2000b) : 369-380. Disponible en ligne : <https://revues.cirad.fr/index.php/cahiers-agricultures/article/view/30259> (accédé le 05/01/2021)
- [25] Kaushal P., Aussenac G., Transplanting shock in Corsican pine and cedar of Atlas seedlings: internal water deficit, growth and root regeneration, Forest Ecology and Management, 27 (1989): 29-40. [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(89\)90080-7](https://doi.org/10.1016/0378-1127(89)90080-7)
- [26] Ammari Y., Lamhamedi M. S., Akrimi N. et Zine El Abidine A., Influence de divers substrats à base de compost sur le statut nutritionnel et la capacité de croissance racinaire de plants de Pin pignon. Annales de l'INRGREF, Numéro spécial, 9 (2) (2006) : 148–171. ISSN 1737-0515
- [27] Ammari Y., Akrimi N., Lamhamedi M.S., Zine El Abidine A., Influence des substrats d'élevage sur la survie et la croissance de jeunes plants de résineux en site de reboisement, Annales de l'INRGREF, 7 (N°. Spécial) (2005) : 217-228. Disponible en ligne : http://documents.irevues.inist.fr/bitstream/handle/2042/9858/339_358_AMMARI.pdf?sequence=3 (accédé le 05/01/2021)
- [28] Lemaire F., Dartigues A., Rivière L.M., Properties of substrates with ground pine bark, Acta Hort., 99 (1980) : 67-80. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1980.99.9>

- [29] Guehl J.M, Falconnet G., Gruez J., Caractéristiques physiologiques et survie après plantation de plants de Cedrus atlantica élevés en conteneurs sur différents types de substrats de culture, Ann. Sci. For., 46 (1) (1989) :1-14.
<https://doi.org/10.1051/forest:19890101>
- [30] Ritchie G. A. et Danlap J.R., Root potential, its development and expression in Forest tree seedlings, N. Z. J. For. Sci., 10 (1980): 218-248. Corpus ID: 40182720. Disponible en ligne :
https://www.scionresearch.com/_data/assets/pdf_file/0019/36811/NZJFS1011980RITCHIE218_248.pdf (accédé le 01/04/2021)
- [31] Aussenac G., Guehl J.M., Kaushal P. Granier A., Grieu Ph., Critères physiologiques pour l'évaluation de la qualité des plants forestiers avant plantation, Rev. For. Fr., 40 (N°. spécial) (1988) : 131–139. Disponible en ligne :
http://documents.irevues.inist.fr/bitstream/handle/2042/25926/RF_F_1988_S_131.pdf;sequence=1 (accédé le 25/03/2021)
-