CIHEAM
Options Méditerranéennes

Mycorhization et application de compost urbain pour l'amélioration de la survie et de la croissance des semis de Pinus halepensis en milieu semi-aride

Valdecantos A., Cortina J., Seva J.P., Bellot J., Vilagrosa A., Vallejo V.R.

La mycorhization des plantes forestières en milieu aride et semi-aride et la lutte contre la désertification dans le bassin méditerranéen

Zaragoza : CIHEAM
Cahiers Options Méditerranéennes; n. 20

1996
pages 87-104

Article available on line / Article disponible en ligne à l'adresse :

---

http://om.ciheam.org/article.php?IDPDF=96605781

To cite this article / Pour citer cet article

Valdecantos A., Cortina J., Seva J.P., Bellot J., Vilagrosa A., Vallejo V.R. **Mycorhization et application de compost urbain pour l'amélioration de la survie et de la croissance des semis de Pinus halepensis en milieu semi-aride.** *La mycorhization des plantes forestières en milieu aride et semi-aride et la lutte contre la désertification dans le bassin méditerranéen .* Zaragoza : CIHEAM, 1996. p. 87-104 (Cahiers Options Méditerranéennes; n. 20)

CIHEAM

http://www.ciheam.org/
http://om.ciheam.org/

CIHEAM

Mycorhization et application de compost urbain pour l'amélioration de la survie et de la croissance des semis de *Pinus halepensis* en milieu semi-aride

A. VALDECANTOS
DEPT. D'ECOLOGIA
UNIV. D'ALACANT
APDO. 99
03080 ALACANT
ESPAGNE

A. VILAGROSA
CENTRO DE ESTUDIOS AMBIENTALES
DEL MEDITERRANEO (CEAM)
UNIV. D'ALACANT
APDO. 99
03080 ALACANT
ESPAGNE

J.P. SEVA
DEPT. D'ECOLOGIA
UNIV. D'ALACANT
APDO. 99
03080 ALACANT
ESPAGNE

J. CORTINA
DEPT. D'ECOLOGIA
UNIV. D'ALACANT
APDO. 99
03080 ALACANT
ESPAGNE

V.R. VALLEJO
CENTRO DE ESTUDIOS AMBIENTALES
DEL MEDITERRANEO (CEAM)
PL. CARMEN 4 (PALACIO PINEDA)
46003 VALENCIA
ESPAGNE

J. BELLOT
DEPT. D'ECOLOGIA
UNIV. D'ALACANT
APDO. 99
03080 ALACANT
ESPAGNE

RESUME - On a évalué l'effet de la mycorhization contrôlée en pépinière et de l'application du compost urbain sur la mortalité et sur la biomasse aérienne et souterraine des semis de *Pinus halepensis*. Les semis ont été plantés en climat méso-méditerranéen semi-aride sur roche-mère calcaire et marneuse. Après deux années sur le terrain il y a eu une mortalité très élevée sur calcaire (jusqu'à 95%) indépendamment du traitement. L'application du compost a présenté un effet positif sur la croissance des semis de *Pinus halepensis*. Aucun des deux traitements ne montrait un effet significatif sur le pourcentage des bouts racinaires mycorhizés. La mycorhization contrôlée en pépinière présentait un effet plutôt faible sur la croissance des semis.

Mots-clés : *Pinus halepensis*, racines, compost urbain, mycorhization, climat méditerranéen et semi-aride.

SUMMARY *- "Mycorrhization and application of urban compost in order to improve survival and growth of seeds of* Pinus halepensis *under semi-arid conditions". We have assessed the effect of controlled mycorrhizal infection in the nursery and the application of urban compost on the survival and on the aboveground and belowground biomass of* Pinus halepensis *seedlings. They were planted on limestone and marls, under semiarid meso-Mediterranean climate. After two years, mortality was higher in those seedlings planted on limestone, and no treatment effect on seedling survival was evident. Compost had a positive effect on seedling growth. Treatments showed no effect on the proportion of mycorrhizal short-roots. Controlled mycorrhizal infection had a relatively small effect on seedling growth.*

Key words: Pinus halepensis, *roots, urban compost, mycorrhization, Mediterranean and semiarid climate.*

Introduction

Actuellement *Pinus halepensis* Mill. est une des essences forestières les plus représentées dans le bassin Méditerranéen. Cette expansion a été favorisée par l'activité humaine. D'une part, les perturbations fréquentes (particulièrement le feu) ont permis la dominance des essences peu exigeantes quant aux propriétés physico-chimiques du sol et du climat, avec une bonne capacité de colonisation et, d'autre part, ces caractéristiques ont justifié l'utilisation intensive du pin d'Alep pour le reboisement pendant les dernières 50 années.

Probablement, dans les prochaines années cette tendance va diminuer, en raison de l'application de la politique agricole de la Communauté Européenne et celle des gouvernements régionaux qui favorisent la plantation des arbres feuillus. Cependant, *Pinus halepensis* est une des essences forestières qui peuvent s'établir dans un milieu semi-aride, raison pour laquelle il conservera un grand potentiel pour son introduction comme essence de reboisement des terrains dégradés, si fréquents dans cette région.

Comme conséquence de ses propriétés morpho-fonctionelles et de l'optimisation des méthodes sylviculturales, la survie et la croissance du pin d'Alep utilisé ont connu une augmentation. Cependant, des possibilités d'amélioration sont envisageables : on se réfère surtout aux conditions édaphiques et climatiques défavorables en procédant par application des techniques expérimentées positivement avec d'autres essences forestières teles que la mycorhization contrôlée en pépinière et l'addition de compost urbain.

Plusieurs études ont montré que l'inoculation avec des champignons mycorhiziens peut améliorer la nutrition des plantes. Plus important en milieu sec et semi-aride, les champignons mycorhiziens peuvent aussi améliorer leur état hydrique (Killham, 1994). Bowen (1973) a observé que les semis mycorhizés peuvent résister à la sécheresse mieux que ceux non inoculés. La réduction du stress hydrique peut favoriser l'accroissement du taux photosynthétique et de la production (Trent *et al.*, 1989). L'inoculation des semis avec des champignons mycorhiziens peut accroître leur survie et leur croissance dans des terrains très perturbés et d'un potentiel d'inoculation bas (Allen, 1991). Plusieurs auteurs ont observé que la croissance des semis utilisés pour boiser peut augmenter après l'inoculation avec des champignons mycorhiziens (Chalot *et al.*, 1988 ; Browning et Whitney, 1992).

Les perturbations provoquent souvent une diminution de la densité d'inoculum (Allen, 1991 ; Amaranthus et Trappe, 1993). Une réduction substantielle du nombre de plantes mycorhizées a été observée dans plusieurs études sur la revégétation des mines (Díaz et Honrubia, 1993 ; Wicklow-Howard, 1994). Pourtant, la diminution de la densité d'inoculum dépend de l'ampleur et du type de perturbation. Par exemple, Gurr et Wicklow-Howard (1994) n'ont trouvé aucune différence entre le potentiel d'inoculation des communautés d'*Artemisia tridentata* var. *wyomingensis* brûlées et témoin, malgré le fait que le niveau de mycorhization de cette essence était plus bas dans le site brûlé. Honrubia (1995) a observé une diminution importante de l'abondance des champignons mycorhiziens dans plusieurs sols brûlés de la Région de Valence après des feux de forêts, mais Torres *et al.* (1995) ont montré que le pourcentage de mycorhization des semis de *Pinus halepensis* et *Pinus pinaster* issus de graine dans la même aire était de près de 100%.

En plus du prix bas et de la large disponibilité, l'utilisation des ordures ménagères (compost urbain) pour la plantation des terrains s'avère intéressante pour deux raisons : Première, le compost urbain est un résidu organique qui favorise l'activité des organismes du sol (Roldán *et al.*, 1994) et augmente la stabilité des agrégats (Díaz *et al.*, 1994) et, en conséquence, il est capable d'améliorer les conditions physico-chimiques du sol. Deuxième, le compost urbain peut être riche en éléments nutritifs et donc il peut améliorer l'état nutritionnel et la croissance des semis. Cependant, l'augmentation de la disponibilité des éléments nutritifs du sol peut diminuer le niveau de mycorhization (Beckjord *et al.*, 1985 ; Newton et Pigott, 1991), et peut neutraliser et même renverser l'effet de la symbiose (Joon Lee, 1984 ; Brechelt, 1989 ; Chakravarty et Chatarpaul, 1989 ; Browning et Whitney, 1992).

Ici, nous présentons les résultats d'une étude sur les effets de la mycorhization contrôlée en pépinière et de l'application du compost urbain sur la survie et la croissance des semis de *Pinus halepensis* plantés en milieu semi-aride.

Matériel et méthodes

Mycorhization en pépinière

Pinus halepensis a été inoculé avec une solution de spores et avec des capsules à mycélium de *Hebeloma edurum* et *Suillus collinitus*. Les pins étaient âgés de deux saisons de croissance quand ils ont été plantés au champ. L'inoculation a été faite par le Dr. E. Gracia (Micologia Forestal i Aplicada, Vivers La Fageda, Girona, Espagne).

Lieu d'étude

Pour cette étude, ont été choisis des sites présentant un couvert végétal très pauvre. Le type de roche-mère du sol est calcaire et marneux car ce sont les roches les plus représentées dans la Région de Valence. Les sites d'étude ont toujours été installés sur les versants sud avec des pentes de 20-35º, caractéristiques des pires conditions pour une récupération du couvert végétal. L'altitude était de 500 à 800 m. *Pinus halepensis* a été planté près de Reclot (province d'Alicante : roche-mère calcaire) et près de Tibi et Petrer (province d'Alicante ; roche-mère marneuse), en climat de type méso-méditerrannéen semi-aride (température moyenne annuelle : 13-17 ºC ; pluviométrie moyenne annuelle : 250-350 mm).

Les plantations dans chaque site suivent un dispositif factoriel complet avec deux facteurs : mycorhization contrôlée en pépinière (+M) et application de compost urbain (+C) à deux niveaux (présent/absent). Le nombre des réplications est indiqué dans chaque cas. Des semis additionnels ont été plantés pour déterminer leur mortalité et leur croissance. Toutes les plantations ont été faites pendant l'hiver de 1992/1993 en potets de 40x40x40 cm.

Dans la moitié des potets on a ajouté 1 kg de compost urbain. Le compost, récupéré de la ville de Valence, a les caractéristiques analytiques suivantes : humidité 32,5%, azote total 1,74%, matière organique totale 57,2%, particules avec un diamètre inférieur à 15 mm 100%. Le compost a été mélangé avec de la terre et placé autour

des semis de telle façon qu'il soit éloigné au moins de 10 cm de la racine et à une profondeur de 20 cm.

La moitié des semis était mycorhizée en pépinière suivant les techniques décrites ci-dessus.

Croissance des semis

A deux occasions (été de 1993 et hiver de 1994/5) on a mesuré la hauteur et le diamètre à la base de la tige des semis. Avec ces donnés on a calculé la croissance en hauteur et en diamètre des semis de cette période. La plupart des semis plantés sur calcaire sont morts après l'été 1994 (voir Table 1), raison pour laquelle on manque de données de croissance dans ce cas. En hiver 1994/5 on a déterminé le pourcentage de mortalité des semis.

Table 1. Pourcentage de mortalité après deux anées de la plantation au champ des semis de *Pinus halepensis* plantés sur roche-mère calcaire et marneuse. Traitements correspondant à l'addition du compost urbain (+C), mycorhization contrôlée en pépinière (+M), ou tous les deux (+CM)

		Témoin [%]	+C [%]	+M [%]	+CM [%]
Calcaire	X	88.89	93.34	94.65	95.34
	Sn-1	11.11	6.67	2.65	0.67
	N	2	2	2	2
Marnes	X	37.78	27.78	36.00	43.34
	Sn-1	11.11	16.67	6.67	24.67
	N	2	2	2	2

Extraction des semis

Tous les semis ont été récoltés pendant l'été 1995. Chaque fois que possible, on a utilisé un cylindre métallique de 50 cm de hauteur et 35 cm de largeur qui a été enfoncé dans le sol avec un marteau pneumatique pour extraire les semis. Ils ont été ramenés au laboratoire où ils ont été séparés de la terre et des racines d'autres plantes, sous la pression des jets d'eau.

Dans le site Reclot, la présence des roches calcaires près de la surface du sol a empêché l'utilisation du cylindre. Dans ce cas, on a appliqué le jet d'eau au champ. Les deux méthodes employées étaient assez douces pour les racines et ont assuré la récolte de la plupart des systèmes racinaires. Cependant, l'utilisation de méthodes

différentes nous a empêchés de faire des comparaisons entre le système racinaire des semis plantés sur calcaire et ceux sur marnes.

Une fois les semis extraits du sol, on a séparé les racines contenues dans la motte de celles qui avaient colonisé la terre du potet, et dans chaque cas a été faite la séparation des racines de diamètre supérieur et inférieur à 2 mm. Finalement, sur les racines fines on a compté le nombre des bouts totaux et de ceux qui étaient mycorhizés et on a calculé le pourcentage de mycorhization de chaque semis. Les racines ont été pesées après les avoir séchées à 65ºC.

Quant à la partie aérienne des plantes, on a déterminé le poids des aiguilles et des tiges (sèches à 65ºC), ainsi que la longueur totale des tiges et le diamètre à la base de la tige.

Analyse statistique

Toutes les donnés ont été transformées pour homogénéiser la variance. En ce qui concerne les pourcentages, on a appliqué la transformation : arcsin(x+constant)^1/2. Pour le reste des variables on a calculé le logarithme décimal. L'effet des traitements et, dans le cas de la partie aérienne des semis et du pourcentage de mortalité, celui de la roche-mère a été évalué par analyse de la variance (Norusis, 1992). Les résultats des analyses sont présentés dans les Annexes I-V.

Résultats

La mortalité des semis plantés sur calcaire était très élevée et supérieure à celle des semis plantés sur marnes (Table 1 et Annexe I). On n'a observé aucun effet des traitements sur la mortalité des semis.

De l'été 1993 jusqu'à l'hiver 1994/5 la croissance en hauteur et en largeur de la tige des semis de *Pinus halepensis* plantés sur marnes était plus grande dans les semis qui avaient reçu du compost (Table 2 et Annexe II), tandis que la mycorhization contrôlée en pépinière avait un effet négatif sur la croissance en hauteur.

Table 2. Croissance en hauteur et en diamètre à la base de la tige des semis de *Pinus halepensis* plantés sur roche-mère marneuse entre l'été 1993 et l'hiver 1994/5. Pour la dénomination des traitements voir Table 1

			Hauteur (cm)		Diàmetre (cm)	
		N	X	Sn-1	X	Sn-1
Marnes	Témoin	28	3.76	3.36	0.10	0.07
	+C	34	5.31	3.11	0.17	0.12
	+M	26	3.18	1.71	0.08	0.07
	+CM	27	3.49	1.89	0.15	0.07

Table 3. Biomasse souterraine et aérienne des semis de *Pinus halepensis* plantés sur calcaire (site Reclot) et marnes (sites Petrer et Tibi). Pour le nom des traitements voir Table 1. Les paramètres mesurés sur les racines extérieures (RE), intérieures (RI) à la motte et totales (R) sont : REM, RIM, RM, pourcentage des bouts racinaires mycorhizés ; RE<2, RI<2, biomasse des racines fines ; RE>2, RI>2, biomasse des racines grosses ; RE/RI, rapport racines extérieures : racines intérieures à la motte ; BS, biomasse souterraine totale ; RA : racines d'autres plantes. Pour la partie aérienne des semis : LT, longueur de la tige ; DT, diamètre de la tige ; BF, biomasse des aiguilles ; BT, biomasse des tiges ; BA, biomasse aérienne totale ; BS/BA, rapport biomasse souterraine : biomasse aérienne.

		REM [%]	RIM [%]	RM [%]	RE<2 [g]	RE>2 [g]	RI<2 [g]	RI>2 [g]	RE/RI [g]	BS [g]	RA [g]
Calcaire (Reclot)											
Témoin	X	52.98	61.79	58.13	1.74	0.40	1.83	3.20	0.36	6.81	
	Sn-1	8.37	16.40	12.31	0.47	0.08	0.71	1.67	0.08	1.72	
	N	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
+C	X	51.70	68.01	58.85	2.27	0.27	1.66	2.39	0.58	6.59	
	Sn-1	12.85	11.19	12.20	1.93	0.41	0.88	1.11	0.43	3.12	
	N	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
+M	X	69.39	81.42	77.81	2.19	0.65	1.46	2.46	0.70	6.75	
	Sn-1	15.51	7.62	7.14	1.00	0.46	0.37	1.02	0.19	2.03	
	N	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
+CM	X	46.44	67.29	55.07	2.19	1.23	2.28	4.55	0.50	10.26	
	Sn-1	22.77	13.13	12.02	0.88	0.78	0.97	1.81	0.16	3.72	
	N	4	4	4	4	4	4	4	4	4	

CIHEAM - Options Mediterraneennes

Table 3 (suite)

		REM [%]	RIM [%]	RM [%]	RE<2 [g]	RE>2 [g]	RI<2 [g]	RI>2 [g]	RE/RI [g]	BS [g]	RA [g]
Marnes (Petrer-Tibi)											
Témoin	X	41.09	49.65	44.01	0.67	0.00	1.25	0.64	0.42	2.56	16.54
	Sn-1	17.51	11.73	9.08	0.59	0.00	0.99	0.34	0.42	1.32	8.61
	N	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
+C	X	47.31	50.43	50.75	3.41	0.44	1.68	2.94	0.80	8.46	20.70
	Sn-1	17.58	13.59	12.00	2.29	0.82	0.81	2.31	0.26	5.54	15.97
	N	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
+M	X	41.10	53.74	47.65	0.88	0.00	0.80	1.05	0.69	2.73	17.16
	Sn-1	26.55	13.07	15.69	0.55	0.00	0.96	0.54	0.65	1.12	7.60
	N	8	8	8	10	10	10	10	10	10	10
+CM	X	50.74	60.45	55.04	1.28	0.00	1.35	2.43	0.41	5.06	23.82
	Sn-1	13.35	9.35	9.46	0.53	0.00	0.69	1.67	0.20	1.79	15.35
	N	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8

Table 3 (suite)

		LT [cm]	DT [cm]	BF [g]	BT [g]	BA [g]	BS/BA
Calcaires (Reclot)							
Témoin	X	40.20	0.69	11.67	8.57	20.24	0.34
	Sn-1	4.02	0.08	2.02	1.30	2.81	0.09
	N	4	4	4	4	4	4
+C	X	39.25	0.72	12.22	9.34	21.56	0.34
	Sn-1	8.11	0.20	7.64	4.42	12.06	0.12
	N	4	4	4	4	4	4
+M	X	53.38	0.85	12.00	10.95	22.95	0.30
	Sn-1	2.95	0.26	4.72	3.89	8.58	0.05
	N	4	4	4	4	4	4
+CM	X	53.50	0.83	17.35	17.18	34.53	0.30
	Sn-1	15.37	0.32	7.49	5.93	13.38	0.02
	N	4	4	4	4	4	4
Marnes (Petrer-Tibi)							
Témoin	X	30.44	0.50	3.36	2.53	5.89	0.43
	Sn-1	5.09	0.12	1.36	0.81	2.05	0.21
	N	8	8	8	8	8	8
+C	X	33.38	0.66	12.65	8.78	21.43	0.47
	Sn-1	5.08	0.19	10.42	8.59	18.19	0.16
	N	8	8	8	8	8	8
+M	X	51.10	0.53	3.99	5.21	9.21	0.33
	Sn-1	4.77	0.07	2.21	1.30	3.42	0.12
	N	10	10	9	9	9	9
+CM	X	51.50	0.69	7.34	8.36	15.70	0.33
	Sn-1	4.88	0.18	3.41	3.60	6.92	0.05
	N	8	8	8	8	8	8

On n'a trouvé aucune différence significative entre le pourcentage de mycorhization des semis de pin d'Alep mycorhizés en pépinière et les témoins, ou entre les semis qui avaient reçu du compost et ceux qui n'avaient pas été fertilisés (Table 3 et Annexe V). Cependant, le pourcentage de bouts mycorhizé à l'extérieur et à l'intérieur de la motte pour les semis plantés sur calcaire était plus élevé dans les semis mycorhizés en pépinière, et en fait, une comparaison entre le pourcentage de ces bouts dans les pins témoins et dans les pins mycorhizés montre un effet significatif de l'inoculation contrôlée en pépinière (résultats de l'analyse de variance non montrés).

La roche-mère du sol avait un effet très important sur la partie aérienne des semis (Fig. 1 et Annexe III). La biomasse totale des aiguilles, des tiges, la hauteur et le diamètre des tiges, était plus grande dans les semis plantés sur calcaire. L'addition de compost avait aussi un effet positif sur quelques paramètres telsque la biomasse des aiguilles, les tiges et, en somme, sur la biomasse totale. Les semis mycorhizés en pépinière présentaient des tiges plus longues et une biomasse plus importante.

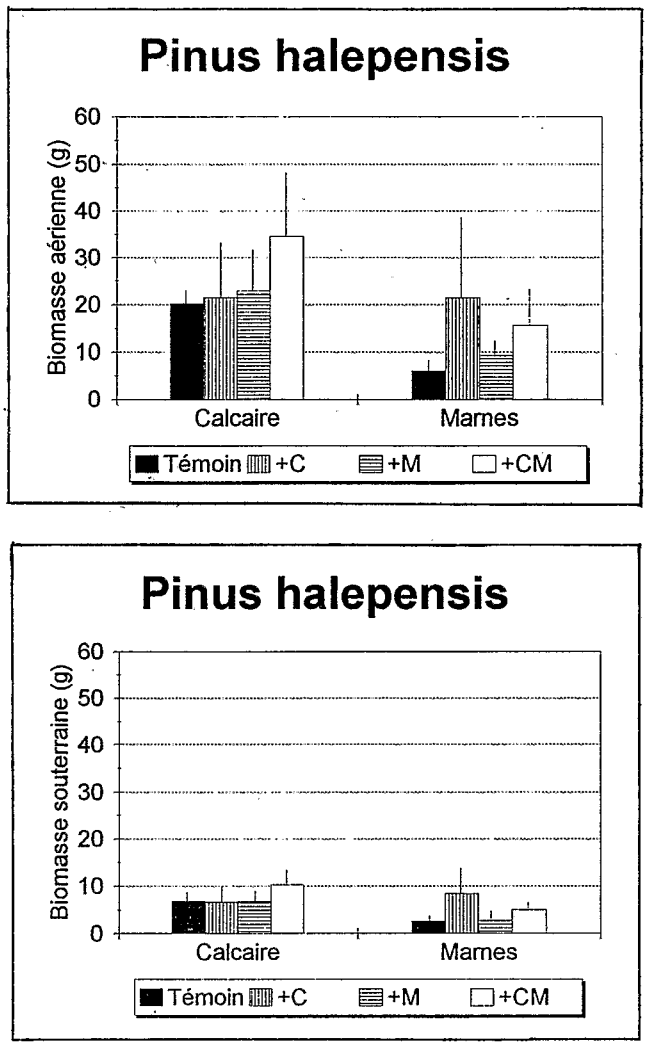

Fig. 1. Biomasse souterraine et aérienne totale des semis de *Pinus halepensis* plantés sur roche-mère calcaire et marneuse. Une partie des semis recevaient du compost urbain à la plantation (+C), étaient mycorhizés en pépinière (+M), ou tous les deux (+CM).

Après deux années sur le terrain, l'effet des traitements sur la biomasse souterraine des *Pinus halepensis* plantés sur calcaire était assez mince. Seulement la fraction des racines fines qui avaient colonisé le potet montrait une réponse positive à la mycorhization. L'interaction CxM de l'analyse de la variance montrait un effet significatif et positif de l'application du compost sur la biomasse des racines extérieures et la biomasse des racines grosses intérieures à la motte des semis mycorhizés en pépinière. Les semis de pin d'Alep plantés sur marnes montraient un effet significatif à l'application du compost urbain sur la biomasse des racines fines extérieures à la motte et des racines grosses intérieures à la motte. L'effet du compost était significatif aussi pour la totalité des racines intérieures et extérieures à la motte, mais pas pour le système racinaire tout entier. La mycorhization en pépinière avait aussi un effet significatif et positif sur la biomasse des racines extérieures à la motte malgré le fait que l'ampleur en était plus petite. L'interaction compost - mycorhization était significative, montrant la diminution du poids des racines extérieures des semis mycorhizés qui avaient reçu du compost par rapport à ceux qui étaient seulement fertilisés avec compost. Les semis mycorhizés en pépinière montraient un rapport plus petit de la biomasse souterraine : biomasse aérienne.

Discussion et conclusions

Les semis de *Pinus halepensis* montraient une mortalité très haute sur calcaire (jusqu'à 95%). Ces résultats sont pareils à ceux obtenus avec d'autres essences, qu'ont montré aussi une différence de mortalité entre les semis plantés sur calcaires et ceux plantés sur marnes (Vallejo *et al.*, 1994). L'observation de l'importance de cette différence en climat semi-aride, suggère que la sécheresse est la principale cause de la mortalité des semis. Dans ce cas, les sols sur marnes seraient un milieu plus favorable pour l'introduction et l'établissement des semis. Vilagrosa et Seva (données non publiées) ont observé que les semis de *Pistacia lentiscus*, *Quercus coccifera* et *Quercus ilex* ssp. *ballota* sont capables de résister mieux à une sécheresse prolongée quand ils sont plantés dans des sols marneux que dans des sols calcaires. Pourtant, ils ont trouvé aussi des différences entre essences. Ainsi l'effet de la roche-mère n'était pas si important pour *Quercus faginea*. On peut attribuer cette différence à la faculté des sols développés sur marnes d'accumuler plus d'eau disponible pour les plantes. Il est possible que d'autres facteurs (comme l'abondance de cailloux, ou le volume de sol colonisable pour les racines) aient affecté aussi la disponibilité en eau pour les semis.

Au contraire que pour la survie des semis, leur croissance et leur biomasse aérienne et souterraine étaient plus grandes sur calcaire. On doit considérer, pourtant, que ce paramètre à été évalué sur les semis qui avaient survécu, et que cette mortalité si élevée peut représenter une sélection des semis plus forts ou de ceux qui ont été capables de s'adapter plus rapidement aux conditions du terrain.

L'addition de compost favorisait la croissance de la partie aérienne des semis de *Pinus halepensis* et, sur marnes, de la partie souterraine aussi (racines intérieures et extérieures à la motte). L'amélioration des propriétés physico-chimiques du sol mélangé avec du compost (Díaz *et al.*, 1994 ; García *et al.*, 1994) peut expliquer ces résultats. Cependant, la survie des semis n'était pas améliorée par l'addition du compost.

La mycorhization contrôlée en pépinière avait, en général, un effet plus modeste sur la partie aérienne des semis. Le seul effet qu'on ait constaté est celui de la morphologie des semis mycorhizés en pépinière, car ils étaient notamment plus longs. Cet effet était probablement une conséquence du temps de croissance dans la pépinière car : (i) on n'a observé aucun effet de la mycorhization tout au long de la période de croissance au champ ; et (ii) et la croissance au champ des semis mycorhizés se faisait surtout en diamètre, et très peu en hauteur (Alloza et Vallejo, 1995).

Plusieurs études ont montré une augmentation de la croissance des semis mycorhizés en pépinière quand ils ont été plantés sur le terrain (Chalot *et al.*, 1988 ; Browning et Whitney, 1992). Cependant, d'autres expériences n'ont pas trouvé un effet significatif de la mycorhization contrôlée en pépinière. Par exemple, Badía et Martí Dalmau (1994) n'ont observé aucun effet de l'inoculation avec *Glomus* sp. sur la biomasse aérienne des herbacées en climat semi-aride et sur marnes. Berch et Roth (1993) n'ont trouvé aucune différence de croissance des semis de *Pseudotsuga menziesii* inoculés avec *Rhizopogon vinicolor* en pépinière, mais ils ont attribué ces résultats au broutage affecté sur les semis traités et témoins. Seva *et al.* (1996) n'ont observé qu'un effet très faible de la mycorhization contrôlée sur la croissance et sur la survie des semis de *Quercus ilex* ssp. *ballota* plantés sur le terrain en milieu sec. Ces résultats apparemment opposés montrent que l'étude de la communauté des champignons mycorhiziens des semis et de la relation entre le pourcentage de mycorhization et l'éco-physiologie des semis est tout à fait nécessaire pour expliquer la relation entre la mycorrhization, la survie et la croissance des semis.

En conclusion, l'effet de la roche-mère sur la survie et la croissance des semis confirme les résultats obtenus par Vallejo *et al.* (1994) : meilleurs résultats sur marnes que sur calcaire. L'application du compost peut être justifiée pour augmenter la croissance du pin d'Alep planté sur le terrain en milieu semi-aride, surtout dans les sols marneux. Par contre, les résultats de cette étude ne semblent pas conseiller la mycorhization contrôlée en pépinière que nous avons utilisée, pour le boisement des terrains dégradés en climat semi-aride, car son effet sur la survie et la croissance des semis était faible.

Remerciements

La réalisation de cette étude à été rendue possible grâce au le financement de la Generalitat Valenciana (Programa de Investigación de las Zonas Afectadas por Incendios Forestales en la Comunidad Valenciana, Projet "Ensayos de Especies Autóctonas y Técnicas de Restauración Forestal") et la C.E.C. DG XII (Projet EV5V-CT94-0475 ; "Reclamation of Mediterranean Ecosystems Affected by Wildfires"). Nous remercions très profondément M. Honrubia et P. Torres, pour leur collaboration dans la quantification du niveau de mycorhization ; Badre Tameme Hassani, pour la correction du texte française ; et toutes les personnes qu'ont collaboré dans les dures tâches de plantation et de récolte des semis : Manuel Ruiz, Mª Jesús Gras, Martín de Luis, Beatriz Molla, José Emilio Martínez, Susana Maestre et José Hernández.

Références

Allen, M.F. (1991). *The ecology of mycorrhizae*. Cambridge University Press, Cambridge.

Alloza, J.A. et Vallejo, V.R. (1995). Características alométricas de los plantones de pino carrasco (*Pinus halepensis*). *Cuadernos CEAM, Serie : Restauración Forestal* No. 1. CEAM, Valencia.

Amaranthus, M.P. et Trappe, J.M. (1993). Effects of erosion on ecto- and VA-mycorhizal inoculum potential of soil following forest fire in southwest Oregon. *Plant and Soil*, 150 : 341-49.

Badía Villas, D. et Martí Dalmau, C. (1994). Mejora del valor pastoral y medio-ambiental de zonas semiáridas degradadas mediante técnicas de revegetación, remicorrización y acolchado : II. Aplicación en suelos margosos (Calcaric Regosol). Lucas Mallada, 6 : 37-53.

Beckjord, P.R., Melhuis, J.H.Jr. et McIntosh, M.S. (1985). Effects of nitrogen and phosphorus fertilization on growth and formation of ectomycorrhizae of *Quercus alba* and *Q. rubra* seedlings by *Pisolithus tinctorius* and *Scleroderma auranteum*. *Can. J. Bot.*, 63 : 1667-1680.

Berch, S.M. et Roth, A.L. (1993). Ectomycorrhyzae and growth of Douglas-fir seedlings preinoculated with *Rhizopogon vinicolor* and outplanted on eastern Vancouver Island. *Can. J. For. Res.*, 23 : 1711-1715.

Bowen, G.D. (1973). Dans : *Ectomycorrhizae - Their Ecology and Physiology.* Marks, G.D. et Kozlowski, T.T. (éds). Academic Press, New York, pp. 151-205.

Brechelt, A. (1989). Effect of different organic manures on the efficiency of VA mycorrhiza. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 29 : 55-58.

Browning, M.H.R. et Whitney, R.D. (1992). The influence of phosphorus concentration and frequency of fertilization and ectomycorrhizal development in containerized black spruce and jack pine seedlings. *Can. J. For. Res.*, 22 : 1263-1270.

Chakravarty, P. et Chatarpaul, L. (1990). Effect of fertilization on seedling growth, ectomycorrhizal symbiosis and nutrient uptake in *Larix laricina*. *Can. J. For. Res.*, 20 : 245-248.

Chalot, M., Battut, P.M., Botton, B., Le Tacon, F. et Garbaye, J. (1988). Recent advances in physiological and practical aspects of ectomycorrhizal effects on tree development. *Acta Oecol. Oecol. Appl.*, 9 : 333-351.

Díaz, G. et Honrubia, M. (1993). Infectivity of mine soils from Southeast Spain. II. Mycorrhizal population levels in spoilt sites. *Mycorrhiza*, 4 : 85-88.

Díaz, E., Roldán, A., Lax, A. et Albaladejo, J. (1994). Formation of stable aggregates in degraded soil by amendment with urban refuse and peat. *Geoderma*, 63 :

277-288.

García, C., Hernández, T., Costa, F. et Ceccanti, B. (1994). Biochemical parameters in soils regenerated by the addition of organic matter. *Waste Management and Research*, 12 : 457-466.

Gurr, J.E. et Wicklow-Howard, M. (1994). VA mycorrhizal status of burned and unburned sagebrush habitat. Dans : *Proceedings - Ecology and Management of Annual Rangelands*, Boisse 1994. Monsen, S.B. et Kitchen, S.G. (éds). Intermountain Research Station, Ogden, pp. 132-135.

Honrubia, M. (1995). Efecto de las micorrizas en la restauración de zonas afectadas por incendios forestales de la Comunidad Valenciana. Dans : *Plan de Reforestación de la Comunidad Valenciana 1994-1999*, Generalitat Valenciana, Conselleria de Medi Ambient, pp. 71-72.

Joon Lee, K. (1984). Growth response of *Pinus rigida* x *P. taeda* to mycorrhizal inoculation and efficiency of *Pisolithus tinctorius* at different soil texture and fertility with organic amendment. *Journal of Korean Forestry Society*, 64 : 11-19.

Killham, K. (1994). *Soil Ecology*. Cambridge University Press, Cambridge.

Newton, A.C. et Pigott, C.D. (1991). Mineral nutrition and mycorrhizal infection of seedling oak and birch. II. The effect of fertilizers on growth, nutrient uptake and ectomycorrhizal infection. *New Phytol.*, 117 : 45-52.

Norusis, M.J. (1992). *SPSS for Windows*. SPSS Inc., Chicago.

Roldán, A., García-Orenes, F. et Lax, A. (1994). An incubation experiment to determine factors involving aggregation changes in an arid soil receiving urban refuse. *Soil Biol. Biochem.*, 26 : 1699-1707.

Seva, J.P., Vilagrosa, A., Valdecantos, A., Cortina, J., Vallejo, V.R. et Bellot, J. (1996). Mycorhization et application de compost urbain pour l'amélioration de la survie et de la croissance des semis de *Quercus ilex* ssp. *ballota* en milieu sec. Submitted to Options Méditerranéennes.

Torres, P., Honrubia, M., Pérez, P., Díaz, G. et Barreno, E. (1995). Efecto de las micorrizas en la restauración de zonas afectadas por incendios forestales en la Comunidad Valenciana. Reunión de Coordinación del Plan de Restauración de la Cubierta Vegetal. Valencia.

Trent, J.D., Svejcar, T.J. et Christensen, S. (1989). Effects of fumigation on growth, photosynthesis, water relations and mycorrhizal development of winter wheat in the field. *Canadian Journal of Plant Science*, 69 : 535-540.

Vallejo, V.R., Baeza, J., Llovet, J., Valdecantos, A. et Alloza, J.A. (1994). Restoration of burned lands in Eastern Spain. Dans : Landscape Degradation in Mediterranean-type Ecosystems. MEDECOS. Viña del Mar (in press).

Wicklow-Howard, M.C. (1994). Mycorrhizal ecology of shrub-steppe habitat. Dans : *Proceedings - Ecology and Management of Annual Rangelands*, Boisse 1994. Monsen, S.B. et Kitchen, S.G. (éds). Intermountain Research Station, Ogden, pp. 207-210.

Annexe I. Analyse de variance de la mortalité des semis de *Pinus halepensis*. On n'indique que les effets significatifs pour un niveau de signification (n.s.) inférieur à 10%. Les traitements correspondant à : le type de roche-mère (R), l'addition de compost urbain (+C), mycorhization contrôlée en pépinière (+M), ou tous deux (+CM).

	R	C	M	RxC	RxM	CxM	RxCxM
F rapport	36.68						
n.s.	0 00						

Annexe II. Analyse de variance de la croissance des semis de *Pinus halepensis*. On n'indique que les effets significatifs pour un niveau de signification (n.s.) inférieur à 10%. Pour le nom des traitements voir Annexe I.

		C	M	CxM
Hauteur	F rapport	4.73	3.86	
	n.s.	0.03	0.05	
Diamètre	F rapport	19.00		
	n.s.	0.00		

Annexe III. Analyse de variance de la biomasse aérienne des semis de *Pinus halepensis*. On n'indique que les effets significatifs pour un niveau de signification (n.s.) inférieur à 10%. Les paramètres mesurés sont : BF, biomasse des aiguilles ; BT, biomasse des tiges ; LT, longueur de la tige ; DT, diamètre de la tige ; BA, biomasse aérienne totale. Pour le nom des traitements voir Annexe I.

		R	C	M	RxC	RxM	CxM	RxCxM
BF	F rapport	14.06	7.20					
	n.s.	0.00	0.01					
BT	F rapport	14.69	8.83	5.11				
	n.s.	0.00	0.00	0.03				
LT	F rapport	6.59		72.83				
	n.s.	0.01		0.00				
DT	F rapport	11.46						
	n.s.	0.00						
BA	F rapport	15.30	8.43					
	n.s.	0.00	0.01					

Annexe IV. Analyse de variance de la biomasse souterraine des semis de *Pinus halepensis* plantés sur roche-mère calcaire et marneuse. On n'indique que les effets significatifs pour un niveau de signification (n.s.) inférieur à 10%. Les paramètres mesurés dans les racines extérieures (RE), intérieures (RI) à la motte et totales (R) sont : RE<2, RI<2, biomasse des racines fines ; RE>2, RI>2, biomasse des racines grosses ; RE/RI, rapport racines extérieures : racines intérieures à la motte ; BS, biomasse souterraine totale ; BS/BA, rapport biomasse souterraine : biomasse aérienne ; RA : racines d'autres plantes. Pour le nom des traitements voir Annexe I.

		Calcaire (Reclot)			Marnes (Petrer-Tibi)		
		C	M	CxM	C	M	CxM
RE>2	F rapport		12.81				
	n.s		0.00				
RE<2	F rapport				12.58	4.09	5.66
	n.s.				0.00	0.05	0.03
RI>2	F rapport			3.66	19.17		
	n.s.			0.08	0.00		
RI<2	F rapport						
	n.s.						
RE	F rapport			5.45	12.26	4.37	5.86
	n.s.			0.04	0.00	0.05	0.02
RI	F rapport				9.13		
	n.s.				0.01		
RE/RI	F rapport						
	n.s.						
BS	F rapport						
	n.s.						
BS/BA	F rapport					7.03	
	n.s.					0.02	
RA	F rapport						
	n.s.						

Annexe V. Analyse de la variance du pourcentage de mycorhization des semis de *Pinus halepensis*. On n'indique que les effets significatifs pour un niveau de signification (n.s.) inférieur à 10%. Facteur F : fraction des racines intérieures ou extérieures à la motte. Pour le nom des traitements voir Annexe I.

		F	C	M	FxC	FxM	CxM	FxCxM
Calcaire	F rapport	8.34					4.51	
	n.s.	0.01					0.04	
Marnes	F rapport	4.65						
	n.s.	0.35						