

Évaluation en jeune plantation de 2 types de plants de douglas mycorhizés artificiellement par *Laccaria laccata* S 238 N

B Généré

CEMAGREF, division amélioration génétique et pépinières forestières, domaine des Barres,
45290 Nogent-sur-Vernisson, France

(Reçu le 25 juillet 1994 ; accepté le 4 octobre 1994)

Résumé — Pour évaluer l'intérêt respectif de 2 types de plants de douglas vert mycorhizés artificiellement par *Laccaria laccata* S 238 N, 4 dispositifs de plantation ont été installés par le CEMAGREF en 1990 et 1991. Des plants naturellement mycorhizés en pépinière et répondant aux normes du Fonds forestier national constituent une modalité témoin (témoin FFN) commune à tous les essais. Un bilan des performances est dressé 3 ans après plantation sur la mortalité, la hauteur et la croissance des plants. Les résultats montrent que les plants artificiellement mycorhizés et de type 1+1 (élevés en 2 ans mais repiqués à 1 an) présentent le meilleur niveau de performance globale. Sur les 4 sites de référence, ils sont 2 fois significativement supérieurs aux plants témoins FFN et 2 fois égaux. Les améliorations constatées portent dans 1 cas sur la survie (+26%) et dans l'autre cas sur la croissance (+20%). Ce dernier résultat est obtenu avec un taux de mycorhization par *L. laccata* S 238 N de seulement 10% en sortie de pépinière. À l'inverse des plants repiqués, les plants de type 2+0, mycorhizés artificiellement mais de moindre qualité extérieure (allure filiforme), présentent un mauvais niveau de performance globale.

ectomycorrhizes / type de plant / *Pseudotsuga menziesii* / *Laccaria laccata*

Summary — **Early assessment of 2 plant types of *Laccaria laccata* S 238 N mycorrhizal Douglas fir seedlings in field trials.** To assess the respective abilities of 2 plant types of Douglas fir inoculated in nursery seedbeds with *Laccaria laccata* S 238 N, 4 field trials were established by CEMAGREF in 1990 and 1991. For each experiment, naturally mycorrhizal seedlings matching the "Fonds Forestier National" (FFN) standards were used as controls. Three years after planting, the performance was reviewed on mortality rate, seedling height and height increment, according to the nursery treatment. The results showed that the 2-year-old which had been inoculated in seedbeds transplants performed very well. Indeed, the performance level was significantly improved, compared to the FFN control, in 2 of 4 trials. On the 1st site, survival rate was increased by 26%. On the 2nd site, overall height increment was increased by 20%. The latter result was obtained with a percentage of *Laccaria laccata* S 238

N mycorrhizal short roots of only 10% at lifting. On the 2 other planting sites, there were no significant differences between the 2 nursery treatments. Contrary to the transplants, the 2+0 seedlings, inoculated in seedbeds but lacking sturdiness, revealed a poor overall performance.

ectomycorrhizae / plant type / *Pseudotsuga menziesii* / *Laccaria laccata*

INTRODUCTION

La mycorhization contrôlée en pépinière peut permettre d'améliorer les performances en plantation (Marx *et al*, 1977 ; Marx et Cordell, 1988 ; Kropp et Langlois, 1990). Pour obtenir de tels résultats, le champignon associé doit être écologiquement adapté au site de plantation (Mikola, 1973 ; Perry *et al*, 1987), compétitif vis-à-vis de la microflore naturelle (locale ou provenant de pépinière) et efficace sur l'essence forestière associée.

En France, la mycorhization contrôlée est étudiée depuis une quinzaine d'années (Le Tacon, 1978 ; Le Tacon et Valdenaire, 1980). Sur le douglas vert (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb) Franco), principale essence exotique de reboisement, les études, conduites en laboratoire et en pépinière puis validées sur les premières plantations expérimentales de l'INRA, ont permis de sélectionner la souche fongique S 238 N de *Laccaria laccata* (Le Tacon et Bouchard, 1986). En effet, cette dernière présente des avantages : relative facilité de production d'inoculum en culture pure, bon pouvoir colonisateur sur jeunes semis en pépinière, possibilité d'améliorer les performances des plants sur certains sites d'élevage (Généré et Amirault, 1991) et de plantation (Le Tacon et Bouchard, 1991 ; Villeneuve *et al*, 1991).

Si l'intérêt scientifique de la mycorhization du douglas par *L. laccata* S 238 N est maintenant acquis, les modalités de transfert de cette technique vers l'utilisateur forestier sont en cours d'étude. Dans ce cadre, le CEMAGREF s'intéresse au choix du type de plant, en essayant la technique classique du repiquage sur les plants mycorhizés arti-

ficiellement au semis. Rappelons que, jusqu'alors, les plants de 2 ans non repiqués (type 2+0) servaient de référence expérimentale, en pépinière comme en plantation.

Une évaluation après plantation permet d'informer l'utilisateur sur les potentialités respectives des types de plants mycorhizés artificiellement au semis, entre eux et par rapport à des plants témoins.

Dans le présent article, un bilan des 4 premières plantations du CEMAGREF est effectué 3 ans après installation.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Les 4 plantations de référence (fig 1) ont été installées en 1990 (Salon-la-Tour et Pellanges) et en 1991 (Châteldon et Varanguebec). Les plants provenaient de la pépinière des Barres (Loiret) dans le premier cas et de celle de Peyrat-le-Château (Haute-Vienne) dans le second.

Les essais en plantation

Dispositifs expérimentaux

Ce sont des dispositifs en blocs complets randomisés, avec 45 plants par plateau. Chaque essai comprend soit 3 traitements et 3 blocs (plantations de 1990), soit 4 traitements et 4 blocs (plantations de 1991). Des plants de bourrage isolent les plateaux entre eux et entourent chaque essai sur plusieurs lignes.

Description des modalités

Sur chaque essai, on compare 2 types de plants mycorhizés artificiellement à 1 ou 2 types de plants témoins.



Fig 1. Localisation des plantations de douglas mycorhizés par *L. laccata* S 238 N et installés en 1990 et 1991 par le CEMAGREF.

Les plants mycorhizés artificiellement ont été obtenus par semis sur sol désinfecté et inoculation avec *L. laccata* S 238 N. Conventionnellement, ces plants seront appelés «plants mycorhizés» et codés «M» suivi de leur type de plant, compte tenu du fait que l'inoculation précède le semis. L'inoculum a été produit au centre INRA de Nancy, sur support solide pour les semis faits aux Barres et en milieu liquide pour ceux faits à Peyrat-le-Château. Dans ce dernier cas, le mycélium était inclus dans des billes d'alginiate de calcium.

La souche fongique d'origine, S 238, est déposée à l'USDA à Corvallis (États-Unis). Elle a été isolée en 1976 par Trappe et Molina à partir d'un carpophore récolté sous *Tsuga mertensiana*, au Crater Lake National Park, OR, États-Unis. La souche utilisée ici, cultivée à Nancy depuis mars 1980, est appelée S 238 N. Elle est maintenant légèrement différente de la souche d'origine (résultats non publiés). D'autre part, cette souche qui avait été dénommée *L. laccata* en 1976 est maintenant dénommée *Laccaria bicolor* par certains auteurs, à la suite de considérations moléculaires. Pour éviter des confusions, nous avons continué, dans cet article, à utiliser le nom d'espèce originellement attribué.

Les plants mycorhizés artificiellement sont élevés en 2 ans. Ils ont été soit repiqués à 1 an (modalité M 1+1), soit laissés 2 ans en planche de semis (modalité M 2+0). Les planches de repiquage n'ont été désinfectées qu'à Peyrat-le-Château. Pour les plants non repiqués, la densité finale d'élevage était de 160 plants par m² de planche aux Barres contre 480 plants par m² à Peyrat-le-Château.

Le choix des plants témoins s'est fait en tenant compte des exigences habituelles des reboiseurs. C'est pourquoi le plant de douglas classique, c'est-à-dire repiqué et répondant aux normes contractuelles du Fonds forestier national (plant FFN), a été retenu comme témoin systématique des essais. Néanmoins, si ce plant FFN peut être produit en 2 ans aux Barres (1+1), 3 ans sont nécessaires à Peyrat-le-Château (2+1). Dans ce dernier cas, un témoin supplémentaire a été ajouté. Il s'agit alors d'un plant de type 1+1, exceptionnellement repiqué sur planche désinfectée afin de la comparer au plant 1+1 mycorhizé artificiellement au semis, dont l'itinéraire technique a été semblable à l'exception de la mycorhization contrôlée. Sur les 2 pépinières, les plants témoins étaient naturellement mycorhizés, principalement par *Thelephora terrestris*, *Rhizopogon* sp et par des souches locales de *Laccaria laccata*.

Caractéristiques des sites de plantation

La plantation de Salon-la-Tour (Corrèze) est située dans la châtaigneraie limousine à 400 m d'altitude. Le terrain est sur une pente d'environ 15% orientée à l'est. La pluviométrie annuelle est de 1 150 mm et la température moyenne de 9,5°C. Le sol de type brun lessivé est profond. Il est formé sur gneiss clair à foliation irrégulière. D'après Jamagne (1967), sa texture est classée sablo-limoneuse (respectivement 56% et 32%).

La plantation de Pellanges (Creuse) est sur le plateau de Millevaches, sur la commune de Saint-Yrieix-la-Montagne. Le terrain, à 700 m d'altitude, est sur une pente moyenne (de 10 à 15%) orientée sud à sud-est. La pluviométrie annuelle est de 1 400 mm et la température moyenne de 8,5°C. Le sol de type ocre podzolique est moyennement profond (60 cm). Il est formé sur une arène granitique. Sa texture est sablo-limoneuse (62-25%) à sablo-argileuse.

La plantation de Châteldon (Puy de Dôme) est située à l'extrémité nord-ouest des monts du Livradois-Forez, à 500 m d'altitude. Le terrain pré-

sente une pente moyenne (10 à 15%) orientée à l'ouest. La pluviométrie annuelle est de 800 mm et la température moyenne de 9,5°C. Le sol est de type brun acide, peu profond et formé sur des sables argileux quartzo-feldspathiques (alluvions de l'Oligocène). Sa texture est sablo-limoneuse (67-21%).

La plantation de Varanguebec (Manche) est dans le Cotentin, à une altitude de 28 m, sur terrain plat. La pluviométrie annuelle est de 900 mm et la température moyenne de 10,3°C. Le sol, profond, est de type brun acide formé sur un grès ancien (période du Siegenien) ; sa texture est limono-argilo-sableuse (54-29-17%).

Des analyses chimiques de sol ont été faites fin 1991 sur les 4 sites. Les résultats sont présentés en tableau I.

On note sur tous les sites une bonne teneur en matière organique, un pH et une capacité d'échange satisfaisants. En revanche, la teneur en phosphore est très faible, sauf à Pellanges. On remarque également des carences plus localisées : magnésium à Salon-la-Tour et cuivre à Châteldon.

Les plants de douglas installés

Origine des graines

Les plants sont issus de semences provenant de l'État de Washington, aux États-Unis. Les références des zones de récolte des graines sont 202 «Mont-Vernon Arlington» pour les plantations de 1990 et 422 «National» pour les plantations de 1991.

Caractéristiques des plants plantés

L'état mycorhizien des plants semés sur sol inoculé par *L. laccata* S 238 N est présenté sur la figure 2. On note 2 phénomènes intéressants. Premièrement, les plants plantés en 1990 et issus de la pépinière des Barres sont globalement moins bien mycorhizés que les plants plantés en 1991 et élevés à Peyrat-le-Château. Il y a, en fait, un effet de la pépinière (Généré et Amiraault, 1991). Deuxièmement, en comparant les types de plants, on constate que, contrairement à un préjugé répandu, le repiquage des plants n'est pas défavorable au champignon inoculé. Bien au contraire, il le favorise fortement dès lors que le repiquage est effectué sur sol désinfecté (plantations 1991). Dans le cas contraire (plantations 1990), le repiquage n'induit pas de modification du taux de mycorhization final par *L. laccata* S 238 N.

Les caractéristiques dimensionnelles des plants sont variables selon le type de plant ainsi que les conditions culturales et climatiques en pépinière. Les plants de type 2+0 sont systématiquement déséquilibrés, avec des rapports hauteur/diamètre au collet (H/D) allant de 70 à 85. À l'inverse les plants les plus trapus sont de type 1+1 ($40 < H/D < 50$).

D'autre part, la taille moyenne des plants est variable, comme le montrent les résultats présentés en tableau II. Le type de plant et la pépinière d'origine expliquent la plupart des différences observées. Ainsi, en sortie de pépinière, le plant est d'autant plus grand qu'il est plus âgé ($2+1 > 1+1$) ou qu'il n'a pas été repiqué ($2+0 > 1+1$), et qu'il provient des Barres (climat plus favorable qu'à Peyrat-le-Château). D'autre part, la mycorhization contrôlée en pépinière n'a induit

Tableau I. Caractéristiques chimiques du sol des sites de plantation.

Site de plantation	Matières organiques (%)			pH eau	Capacité d'échange (méq/100 g)	Cations échangeables (méq/100 g)			P2O5 Dyer (%)	Cu total HF (ppm)
	Totale	Azote (Kjel)	C/N			Ca	K	Mg		
Salon-la-Tour	5,5	0,26	12,2	4,7	10,2	0,4	0,17	0,07	0,02	25
Pellanges	7	0,34	12	5,1	16,1	3,5	0,16	0,21	0,24	8,1
Châteldon	4,7	0,18	15,1	4,4	7,3	2,1	0,22	0,32	0,03	3,8
Varanguebec	4,2	0,21	11,8	4,9	9,6	1,7	0,34	0,99	0,01	30

un gain de croissance qu'à Peyrat-le-Château (M 1+1 > 1+1). Les autres différences observées sont liées à des aléas (répartition des lots de plants par site et profondeur d'enfouissement du collet).

Conditions de transport et de plantation

Les plants ont toujours été plantés moins de 48 h après leur arrachage en pépinière. Cette précaution expérimentale permet de garantir la persistance à la plantation de l'état mycorhizien des plants en fin d'élevage. À plus grande échelle, cette précaution pourrait être supprimée en raison de la bonne conservation en sac et au froid des mycorhizes de *L laccata* S 238 N, pour des durées allant jusqu'à 2 mois (essais CEMAGREF non publiés). Le transport a été effectué classiquement en cagette-jauge, à l'abri du vent, dans un fourgon.

Les plantations ont été faites en fente, à la pioche forestière, car il s'agit de la technique la plus fréquente en France. Les autres conditions de plantations sont précisées en tableau III. On remarque que les plantations ont été effectuées selon les techniques habituelles de reboisement. Une seule d'entre elles, Pellanges, a été effectuée sur un sol de déprise agricole.

L'évaluation en plantation

Mesures effectuées

Tous les plants du dispositif statistique ont donc été mesurés en hauteur à la plantation. Ensuite, chaque année, l'évaluation a porté sur la survie,

la croissance, la hauteur totale et les dégâts non liés au sujet étudié (gibier, débroussaillage...).

Tous les plants ainsi endommagés sont exclus de l'analyse statistique sur les variables dimensionnelles. Pour simplifier la présentation, seul un bilan synthétique 3 ans après plantation est proposé dans cet article.

Méthodes d'analyse statistique

L'analyse statistique est effectuée à l'aide du logiciel STATGRAPHICS Plus, en utilisant les valeurs individuelles (plant par plant) de la manière suivante :

i) Pour le taux de mortalité, variable binomiale, le test du χ^2 a été effectué par rapport à l'ensemble des modalités. En cas de différence significative au seuil de 5%, ces dernières ont été comparées 2 à 2 afin de les classer. D'autre part, le classement des modalités a été fait pour chaque bloc afin de détecter d'éventuelles interactions entre blocs et modalités.

ii) Pour la hauteur et la pousse, la méthode d'analyse à privilégier est l'analyse de variance (ANOVA). Son utilisation suppose que le dispositif reste orthogonal (toutes les modalités sont représentées par des plants vivants et sains dans tous les blocs) et que chaque variable étudiée satisfasse aux 3 conditions suivantes : adéquation à une loi normale, homogénéité et indépendance des variances résiduelles.

Si ces conditions sont vérifiées sur les modalités et sur les blocs, l'ANOVA à 2 facteurs est réalisée avec le modèle interactif. Pour pouvoir classer les modalités entre elles, l'interaction entre blocs et modalités doit être soit non significative au seuil de 5%, soit négligeable devant l'effet modalité. Dans ce dernier cas, le jugement est effectué au seuil de 10%, par un nouveau

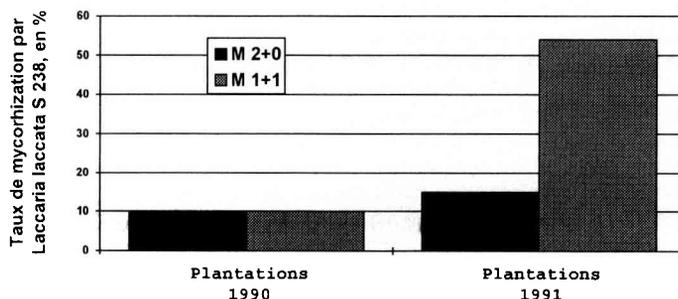


Fig 2. Taux de mycorrhization par *Laccaria laccata* S 238 N, en sortie de pépinière.

Tableau II. Hauteur moyenne des plants à la plantation (en cm).

Site de plantation	Type de plant							
	M 2+0		M 1+1		1+1		2+1	
Salon-la-Tour	37	a	31	c	33	b		
Pellanges	39	a	35	b	36	b		
Châteldon	34	b	25	c	20	d	40	a
Varanguebec	35	b	26	c	23	d	48	a

Pour chaque ligne, 2 valeurs suivies de lettres toutes différences sont significativement différentes au seuil de 5% (test de Kruskal-Wallis). En gras, le témoin aux normes FFN.

Tableau III. Conditions de plantation des sites de l'étude.

Site de plantation	Date de plantation	Densité de plantation	Précédent cultural	Préparation du sol
Salon-la-Tour	20/02/1990	1 100 plants/ha	Taillis mixte	Arrasage, andainage, sous-solage
Pellanges	28/03/1990	1 100 plants/ha	Prairie	Glyphosate, sous-solage, rotavator
Châteldon	27/03/1991	1 100 plants/ha	Taillis	Arrasage, andainage, sous-solage
Varanguebec	04/04/1991	950 plants/ha	Taillis sous-futaie	Sous-solage

test de Student résultant de la comparaison de la somme des carrés des écarts (SCE) liée aux modalités à celle liée à l'interaction. Lorsque tout se passe bien, le classement des modalités est fait par le test de Tukey, au seuil de 5%.

Au cas où l'une des premières hypothèses de départ (normalité de la distribution ou homogénéité des résidus) n'est pas vérifiée, on peut parfois corriger ce défaut par changement de variable : ce dernier doit alors être appliqué pour l'autre ANOVA à un facteur (effet bloc ou modalité) et sur l'ANOVA à 2 facteurs. Dans d'autres cas, l'ANOVA demeure inapplicable. On utilise alors le test non paramétrique de Kruskal-Wallis. Celui-ci repose sur l'analyse de rang, effectuée globalement entre toutes les modalités. Il est beaucoup moins précis que l'ANOVA puisqu'il ne tient aucunement compte des éventuelles interactions entre blocs et modalités. Néanmoins, si ce test révèle une différence significative au seuil de 5%, les modalités sont ensuite comparées 2 à 2 (test de Mann-Whitney au seuil de 5%) afin d'être classées.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

La mortalité

L'analyse statistique révèle que le traitement M 1+1 est systématiquement classé dans le meilleur groupe, quel que soit le site d'élevage (fig 3). Inversement, chacun des autres traitements présente une défaillance naturelle. Ainsi, les plants M 2+0 ont une mortalité accrue à Pellanges, alors que les témoins 1+1 et 2+1 sont décimés à Châteldon. Ces 3 contre-performances sont incontestables car il n'y a aucune interaction entre blocs et modalités. En revanche, à Varanguebec, la mortalité est concentrée sur quelques placeaux avec de très fortes interactions entre blocs et modalités : elle est due à des dégâts de gibier constatés sur le

terrain. À Salon-la-Tour, presque tous les plants ont survécu, quelle que soit leur modalité d'origine.

Notons que la mortalité s'est manifestée essentiellement la première année à Pellanges, et la deuxième année à Châteldon.

L'analyse révèle donc le rôle bénéfique de la mycorhization contrôlée à Châteldon et du repiquage des plants à Pellanges.

La hauteur moyenne des plants

L'analyse statistique sur la hauteur des plants a été fortement perturbée. Exception faite de Châteldon, l'ANOVA n'a pas pu être validée, même après changement de variable, en raison d'une trop grande hétérogénéité des variances résiduelles. Il a fallu alors utiliser le test de Kruskal-Wallis, moins précis, car ne permettant pas d'apprécier les éventuelles interactions entre blocs et modalités.

Les résultats (tableau IV) montrent que les meilleures hauteurs moyennes sont d'environ 1,5 m quel que soit le site d'élevage. Aucune modalité d'élevage n'est classée 4 fois dans le meilleur groupe (A/a). Néanmoins, les traitements M 1+1 et témoin FFN présentent 3 notes «a» pour une note «b» :

leurs performances sont globalement supérieures à celles des 2 autres traitements : M 2+0 et témoin 1+1.

Au niveau des sites, on note 2 effets clairs : un effet favorable de la mycorhization contrôlée à Salon-la-Tour et un effet défavorable de l'élevage des plants sans repiquage (2+0) à Pellanges.

La croissance moyenne des plants

L'accroissement en 3 ans a toujours pu être analysé par ANOVA, soit directement, pour Châteldon, soit après changement de variable (racine carrée) pour les autres sites.

Les interactions entre blocs et modalités ont ainsi été prises en compte :

– À Châteldon, l'effet significatif de l'interaction n'étant pas négligeable devant l'effet modalité, également significatif, on s'est donc abstenu de mentionner le classement du test de Tukey.

– À Pellanges et à Varanguébec, l'effet significatif de l'interaction est jugé négligeable devant l'effet modalité, par un test de Student supplémentaire (*cf Matériel et méthodes*).

– Enfin, à Salon-la-Tour, l'effet de l'interaction n'est pas significatif.

Tableau IV. Hauteur des plants 3 ans après plantation (en cm).

Site de plantation	Type de plant			
	M 2+0	M 1+1	1+1	2+1
Salon-la-Tour	145 a**	152 a**	136 b**	
Pellanges	123 b**	152 a**	149 a**	
Châteldon	146 a*	140 a*	128 b*	145 a*
Varanguébec	108 c**	121 b**	110 c**	146 a**

Pour chaque ligne, 2 valeurs suivies de lettres toutes différentes sont significativement différentes au seuil de 5% (* analyse de variance ; ** test de Kruskal-Wallis). En gras, le témoin aux normes FFN.

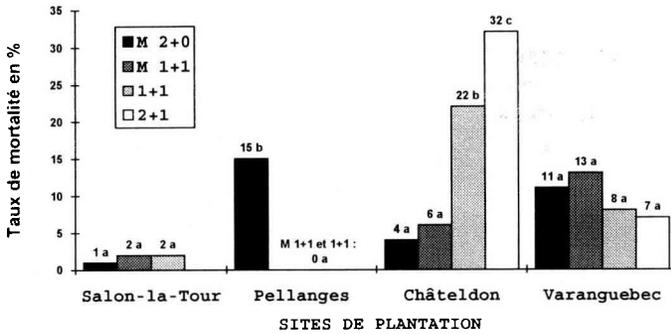


Fig 3. Taux de mortalité (%) 3 ans après plantation. Pour chaque site, 2 valeurs suivies de lettres toutes différentes sont significativement différentes au seuil de 5% (test du χ^2).

Les résultats, illustrés sur la figure 4, montrent l'excellent comportement des plants M 1+1, systématiquement dans le meilleur groupe. Inversement, les plants M 2+0 sont les moins vigoureux, exception faite de Châteldon. Ce contraste révèle l'importance du choix du type de plant mycorhizé artificiellement en pépinière, sur le niveau de performance à espérer en jeune plantation. Toutes choses étant égales par ailleurs, le plant repiqué est donc meilleur que le plant de type 2+0.

D'autre part, à type de plant égal (1+1), la mycorhization contrôlée apporte un gain significatif de croissance de 20% à Salon-la-Tour. Sur les autres sites, les différences ne sont pas significatives. Néanmoins, les remarques suivantes doivent être faites.

A Pellanges, ancienne pâture, la plantation est envahie par les graminées, ce qui inhibe probablement la mycorhize inoculée en pépinière (Le Tacon et Bouchard, 1991). Néanmoins, sur le bloc 3, situé en lisière de bois et moins envahi par les graminées, on note que le traitement M 1+1 présente une croissance significativement plus forte que celle du témoin 1+1 (+13%), alors qu'ils sont indissociables sur les 2 autres blocs, plus éloignés de la lisière.

À Châteldon, la pousse annuelle des plants M 1+1 ne devient supérieure à celle des plants témoins 1+1 qu'en 3^e année (64 vs 54 cm). En revanche, le résultat était opposé en première année (11 vs 14 cm), et aucune différence n'apparaissait sur la pousse de 2^e année (41 cm). Il semble donc

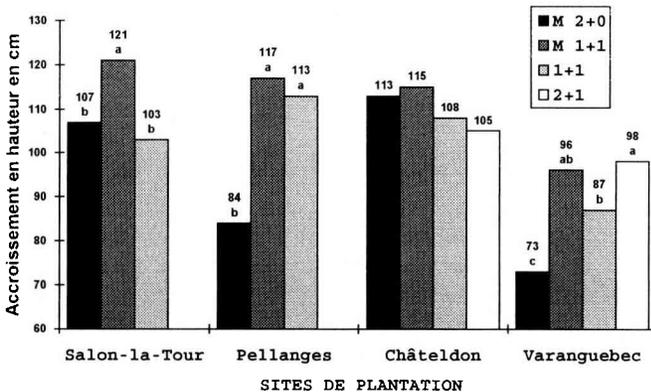


Fig 4. Accroissement en hauteur des plants, 3 ans après plantation (en cm). Deux valeurs suivies de lettres toutes différentes sont significativement différentes au seuil de 5% (analyse de variance et test de Tukey).

qu'il y ait une amélioration progressive des performances des plants mycorhizés au cours du temps.

À Varanguébec, la croissance des plants M 1+1 était significativement meilleure que celle des plants témoins 1+1 en première année de plantation (15 vs 12 cm). Sur les pousses ultérieures, les différences ne sont plus significatives. Il est possible que la mycorhize, d'abord performante, régresse ensuite en raison du manque d'aération du sol (de type limono-argileux) particulièrement dommageable en période pluvieuse et fraîche.

Enfin, le témoin de type FFN (1+1 pour les plantations de 1990 et 2+1 pour les plantations de 1991) montre des résultats satisfaisants à Pellanges et à Varanguébec, mais peu probants à Châteldon et décevants à Salon-la-Tour.

CONCLUSION

Trois ans après plantation, les plants de douglas vert de type 1+1 mycorhizés artificiellement par *L. laccata* S 238 N présentent, globalement, le meilleur niveau de performance, aussi bien sur la croissance que sur la survie. En effet, sur les 4 plantations de référence, ils sont soit supérieurs soit égaux aux plants témoins répondant aux normes du FFN.

Une amélioration significative est obtenue à Salon-la-Tour et à Châteldon. Dans le premier cas, la vigueur est accrue de 20% et, dans le second, l'écart sur le taux de mortalité est de 26%. Le gain obtenu est essentiellement dû à la mycorhization contrôlée et non à l'âge du témoin (1+1 ou 2+1 selon la pépinière d'élevage). Les 2 sites en question présentent des points communs : une plantation après coupe de taillis, une texture sablo-limoneuse, un pH proche de 4,5 et une forte déficience en phosphore. De plus, on a noté des carences en magnésium à Salon-la-Tour et en cuivre à Châteldon.

Sur les autres sites (Pellanges et Varanguébec), il n'y a pas de différences entre les 2 traitements. Cela peut s'expliquer, à Pellanges, par l'abondance des graminées qui inhibent l'expression du champignon inoculé. On pourrait penser également que le niveau important de phosphore nuit au développement du symbiote introduit artificiellement. En fait, cette hypothèse est peu vraisemblable pour *L. laccata* S 238 N qui résiste bien à des niveaux élevés de fertilité (Molina et Chamard, 1983). D'ailleurs, l'efficacité de cette souche est remarquable sur la pépinière de Peyrat-le-Château, avec des teneurs en phosphore Dyer supérieures (0,3 à 0,6‰ selon les parcelles).

À Varanguébec, la nature du sol (limon et argile dominants) induit vraisemblablement un manque d'aération en période fraîche et humide prolongée, susceptible de faire régresser les mycorhizes.

Le choix du type de plant mycorhizé artificiellement est essentiel. En effet, les plants M 2+0 présentent des performances généralement inférieures à celles des plants M 1+1. Il n'y a qu'à Châteldon que les résultats de ces 2 traitements sont indissociables. À Salon-la-Tour et à Varanguébec, les plants M 2+0 ont une croissance significativement inférieure à celle des plants M 1+1. À Pellanges, leur taux de mortalité est accru de 15%. Ces mauvaises performances des plants non repiqués peuvent s'expliquer, d'une part, par un rapport «hauteur/diamètre au collet» classiquement trop fort (plants filiformes) et, d'autre part, par l'absence de sélection naturelle préalable sur la résistance à la crise de transplantation. Les plants repiqués ne présentent pas ces inconvénients : ils répondent sur ces points aux normes du FFN qui prouvent ainsi, une fois de plus, leur intérêt. En revanche, l'insuffisance éventuelle de hauteur des plants 1+1 mycorhizés par rapport aux mêmes normes semblent ne pas avoir eu de conséquence négative sur les performances (Châteldon et Varanguébec).

Un autre problème à évoquer est celui du taux de mycorhization par *L. laccata* S 238 N à partir duquel on peut espérer obtenir une réponse favorable en plantation. Assurément, ce niveau minimum est très faible, inférieur à 10%. En effet, les 2 types de plants mycorhizés installés à Salon-la-Tour étaient mycorhizés à 10% par la souche introduite, alors que les 2+0 mycorhizés installés à Châteldon l'étaient à 15%.

Enfin, le choix de la pépinière d'élevage des plants mycorhizés ne semble pas déterminant pour obtenir de bons résultats en plantation, par rapport à des plants classiques provenant de la même pépinière. À ce propos, on rappellera que la mycorhization contrôlée n'améliore pas les performances des plants produits aux Barres, contrairement à ce qui est observé à Peyrat-le-Château. D'autre part, les taux de mycorhization par la souche inoculée sont généralement plus faibles aux Barres qu'à Peyrat-le-Château. Or, l'intérêt de la mycorhization contrôlée s'est manifesté en jeune plantation 1 fois sur 2, que ce soit pour les plants des Barres (à Salon-la-Tour) ou pour ceux de Peyrat-le-Château (à Châteldon).

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier JM Amirault, chargé de l'installation et des mesures de terrain des plantations de plants mycorhizés du CEMAGREF. On lui doit également les mesures de taux de mycorhization en sortie de pépinière. On remercière également le personnel des pépinières de Peyrat-le-Château et des Barres, sans lequel ces essais n'auraient pu être effectués. Ma reconnaissance va enfin aux gestionnaires et aux propriétaires forestiers concernés qui suivent avec un grand professionnalisme leurs plantations.

RÉFÉRENCES

- Généré B, Amirault JM (1991) L'élevage du douglas mycorhizé au semis : influence de la pépinière et du type de plant. *Études Forêt du CEMAGREF 6* (annales 1990), 186-200
- Jamagne M (1967) Bases et techniques d'une cartographie des sols. *Ann Agro 18*, n° hors-série, 142 p
- Kropp BR, Langlois CG (1990) Ectomycorrhizae in reforestation. *Can J For Res 20*, 438-451
- Le Tacon F (1978) La mycorhization contrôlée et ses possibilités d'application. Les progrès réalisés aux États-Unis. *Rev For Fr 30*, 353-362
- Le Tacon F, Valdenaire JM (1980) La mycorhization contrôlée en pépinière. Premiers résultats obtenus à la pépinière du Fonds forestier national de Peyrat-le-Château sur épicéa et douglas. *Rev For Fr 32*, 281-293
- Le Tacon F, Bouchard D (1986) Effects of different ectomycorrhizal fungi on growth of larch, Douglas fir, Scots pine and Norway spruce seedlings in fumigated nursery soil. *Acta Oecol Oecol Appl 7*, 389-402
- Le Tacon F, Bouchard D (1991) Les possibilités de mycorhization contrôlée en sylviculture tempérée. *Forêt-Entreprise 74*, 29-41
- Marx DH, Cordell CE (1988) Specific ectomycorrhizae improve reforestation and reclamation in the eastern United States. In: *Proc Canadian Workshop on Mycorrhizae in Forestry* (M Lalonde, Y Piché, eds), faculté de foresterie et de géodésie, université Laval, Sainte-Foy, Québec, 75-86
- Marx DH, Bryan WC, Cordell CE (1977) Survival and growth of pine seedlings with *Pisolithus* ectomycorrhizae after 2 years on reforestation sites in North Carolina and Florida. *For Sci 23*, 363-373
- Mikola P (1973) Application of mycorrhizal symbiosis in forestry practice. In: *Ectomycorrhizae, their ecology and physiology* (GC Marks, TT Kozłowski, eds), Academic Press, New York, 383-406
- Molina R, Chamard J (1983) Use of the ectomycorrhizal fungus *Laccaria laccata* in forestry. II. Effects of fertilizer forms and levels on ectomycorrhizal development and growth of container-grown Douglas fir and ponderosa pine seedlings. *Can J For Res 13*, 89-95
- Perry DA, Molina R, Amaranthus MP (1987) Mycorrhizae, mycorrhizospheres, and reforestation: current knowledge and research needs. *Can J For Res 17*, 929-940
- Villeneuve N, Le Tacon F, Bouchard D (1991) Survival of inoculated *Laccaria bicolor* in competition with native ectomycorrhizal fungi and effects on the growth of outplanted Douglas fir seedlings. *Plant Soil 135*, 95-107