



## **Influence de quelques sols forestiers du Djurdjura (Algérie) sur le développement des ectomycorhizes de *Pinus nigra* subsp. *mauretanica* en pépinière**

### **Influence of some forest soils of Djurdjura (Algeria) on the development of ectomycorrhizae of *Pinus nigra* subsp. *mauretanica* in nursery**

Adel SMAIL<sup>1</sup> & Rachid MEDDOUR<sup>1</sup>

**Abstract:** The aim of this study is to know the mycorrhizal status (earliness of the appearance of mycorrhiza, mycorrhizal rate, diversity of morphological types of mycorrhizae) of *Pinus nigra* subsp. *mauretanica*, according to some forest soils. This pine seeds were sown directly in the nursery, in different forest soils containing a natural inoculum, taken near black pine trees in three stations of Djurdjura.

The results obtained show that there is a fairly late mycorrhization of plants of black pine, 4 months on the soil of Tala Rana and 5 months on the soils of Tikjda and Tala Guilef. There is a very highly significant difference in the rate of mycorrhization between the 3 soils. In soil of Tala Rana, this rate is higher (82%), compared to that of Tikjda (73%) and Tala Guilef (63%). Moreover, Tala Rana soil is the most diversified in ectomycorrhiza, with 8 and 10 different types identified at 4 and 7 months after sowing. On the soil of Tikjda, 3 types mycorrhizal were noted and that of Tala Guilef, only one has been inventoried, 5 and 7 months after planting in both cases. This difference is linked to the availability of inoculum of fungal species and a greater diversity in microbial populations in soil of Tala Rana, compared to the other two substrates.

Keywords: Black pine, Soils, Ectomycorrhizal fungi, Nursery, Djurdjura, Algeria

**Résumé:** L'objectif de cette étude est de connaître le statut mycorhizien (précocité de l'apparition des mycorhizes, taux de mycorhization, diversité des types morphologiques de mycorhizes) de *Pinus nigra* subsp. *mauretanica*, en fonction de quelques sols forestiers. Des graines de ce pin ont été semées directement en pépinière, dans différents sols forestiers contenant un inoculum naturel, prélevés à proximité d'arbres de pin noir dans 3 stations du Djurdjura.

Les résultats obtenus montrent une mycorhization assez tardive des plants de pin noir, à 4 mois sur le sol de Tala Rana et 5 mois sur les sols de Tikjda et de Tala Guilef. Il existe une différence très hautement significative dans le taux de mycorhization entre les 3 sols. Dans le sol de Tala Rana, il est plus important (82 %), par rapport à ceux de Tikjda (73 %) et de Tala Guilef (63 %). De plus, le sol de Tala Rana est le plus diversifié en ectomycorhizes, avec 8 et 10 types différents recensés à 4 et 7 mois après le semis. Sur le sol de Tikjda, 3 types mycorhiziens, et sur celui de Tala Guilef, un seul type, ont été inventoriés, à 5 et 7 mois après le semis. Cette différence serait liée à la disponibilité de l'inoculum des espèces fongiques et à une plus grande diversité en populations microbiennes dans le sol de Tala Rana, par rapport aux deux autres substrats.

Mots-clés : Pin noir, Sols, Ectomycorhizes, Pépinière, Djurdjura, Algérie

## **INTRODUCTION**

En Algérie, le pin noir du Maghreb (*Pinus nigra* subsp. *mauretanica*) représente une essence forestière relique, qui remonte probablement à l'ère tertiaire, très rare au parc national du Djurdjura. Actuellement, il végète dans la cédraie de Tigounatine à Tikjda, son unique localité algérienne, entre 1450 et 1650 m d'altitude, où il forme un petit peuplement résiduel, composé de quelques 400 individus, dont les plus gros avoisinent 200 ans (MEDDOUR, 2010). C'est une endémique algéro-

---

<sup>1</sup> Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques, Université Mouloud Mammeri, BP 17 RP, 15 000 Tizi Ouzou (ALGERIE) [adelsmail10@yahoo.fr](mailto:adelsmail10@yahoo.fr)

marocaine menacée de disparition, notamment par l'absence de régénération naturelle sur de longues périodes et les incendies récurrents (MEDDOUR, 2010). Dans ce cas, la conservation *in situ* de son peuplement naturel doit être renforcée par des plantations à même d'assurer la pérennité de l'essence dans son milieu originel.

Lors des plantations forestières, la mycorhization constitue un outil naturel efficace lorsqu'elle est bien maîtrisée. C'est une méthode utilisée depuis longtemps en reboisement dans certains pays (MIKOLA, 1973). Par ailleurs, le statut mycorhizien des plants de pépinière peut être amélioré par l'apport de terre, prélevée en forêt, renfermant des propagules de champignons mycorhiziens. Le recours à de tels inocula naturels a été, et est encore, employé avec succès à très grande échelle dans le cas des ectomycorhizes (GARBAYE, 2013).

Il est généralement admis que la réussite de l'association symbiotique dépend des interactions complexes entre l'inoculum mycorhizien, la plante hôte et l'environnement (SLANKIS, 1974 ; PERRIN *et al.*, 1988). Le sol se révèle être un facteur environnemental important de la mycorhization, quand toutes les autres conditions sont expérimentalement standardisées (GARBAYE & WILHELM, 1984). En effet, la réceptivité des sols à la mycorhization est très influencée par leurs caractéristiques physiques, chimiques et biologiques (MOSSE *et al.*, 1980 ; HARLEY, 1984).

L'objectif de ce travail est ainsi d'étudier le statut mycorhizien (précocité de l'apparition des mycorhizes, taux de mycorhization, diversité des types morphologiques de mycorhizes) de *Pinus nigra* subsp. *mauretanica* en pépinière, et de mettre en évidence l'influence de divers substrats forestiers sur le développement de la mycorhization.

## MATERIEL ET METHODES

### Site expérimental

L'expérimentation est conduite dans une pépinière située au nord de l'Algérie, à 15 km à l'ouest de Tizi Ouzou (figure 1), à une altitude de 55 m, sous un bioclimat subhumide, à variante chaude (MEDDOUR, 2010).

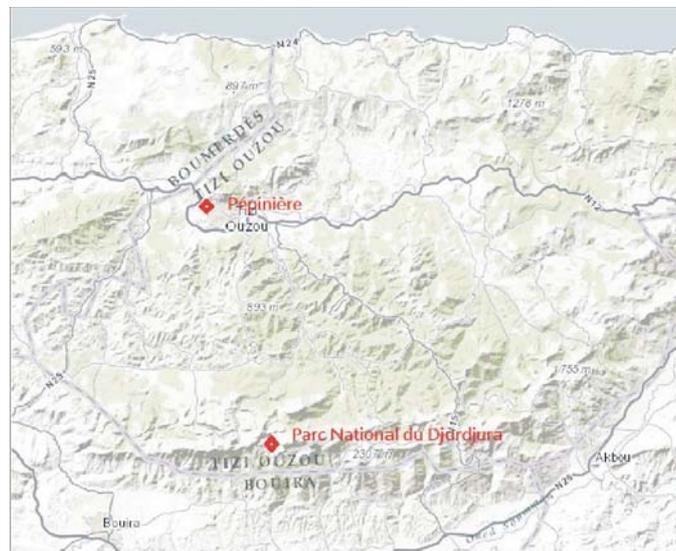


Figure 1. Localisation de la pépinière (site expérimental) et du parc national du Djurdjura

### Matériel utilisé

Les graines de pin noir proviennent du peuplement naturel de Tigounatine à Tikjda (au Djurdjura). Elles sont issues de cônes récoltés par le personnel du parc national du Djurdjura, puis conservés au réfrigérateur à une température de 4°C. Une fois les cônes ouverts après une exposition au soleil de quelques jours, l'ensemble des graines en ont été extraites. Celles-ci se divisent en graines fertiles et en graines vaines. Les graines fertiles sont noirâtres et ne représentent que 15 à 20 % du total

des graines d'un cône, soit 3 à 4 graines fertiles par cône. Après un pré-trempe de 24 heures dans l'eau, les graines fertiles sont désinfectées superficiellement à l'eau oxygénée (30%), puis rincées abondamment à l'eau.

Pour les substrats, nous avons utilisé trois sols différents prélevés dans trois stations distinctes : Tikjda, Tala Guilef et Tala Rana. Ces sols ont été prélevés juste avant les semis en pépinière. Dans chaque station, le sol est prélevé autour de cinq arbres de pin noir choisis au hasard dans le peuplement (naturel ou artificiel). Le sol provenant d'un groupe d'arbres a un potentiel ectomycorhizien plus élevé et plus diversifié que celui prélevé près d'un seul arbre (HOCINE, 1998).

Dans un premier temps, le sol est débarrassé de la litière à l'aide d'un râteau. Ensuite, autour de chaque arbre, sont prélevées des mottes de sol à environ 1,5 m du tronc. Ce sol est ensuite débarrassé des cailloux et des grosses racines. Tous ces prélèvements sont mélangés soigneusement, afin d'obtenir un substrat dans lequel l'inoculum serait mélangé de la façon la plus homogène possible. Ce sol contenant les propagules de champignons mycorhiziens (spores, mycélium, fragments de racines mycorhiziens) est alors distribué dans des sachets noirs de polyéthylène perforés. Les graines sont ensuite semées individuellement dans ces conteneurs (le 01/01/2011). Pour chaque sol, 70 sachets ont été utilisés. Ils sont ensuite disposés sous ombrière. L'arrosage est effectué avec l'eau d'un forage suivant les besoins. L'essai se déroule à la lumière du jour et à la température extérieure. Aucun traitement phytosanitaire et aucune fertilisation n'ont été appliqués aux plants.

### **Variables d'évaluation des plants et de la mycorhization**

Chaque mois, au cours de la période de février à août 2011, cinq plants produits sur chacun des trois sols ont été observés. Les paramètres mesurés sont : la hauteur de l'hypocotyle, le diamètre de l'hypocotyle, le nombre de cotylédons, la hauteur de la tige principale, le nombre de racines courtes et le taux de mycorhization.

Les systèmes racinaires, pour chacun des traitements, ont été lavés très soigneusement et examinés à la loupe, en vue de dénombrer les racines mycorhizées et celles non mycorhizées, ainsi que de caractériser les types mycorhiziens. Le taux de mycorhization par plant ou par échantillon a été exprimé en pourcentage de racines courtes mycorhizées par rapport au nombre total de racines courtes comptées et en multipliant par 100 (MARX *et al.*, 1977).

Une étude anatomo-morphologique a été réalisée sur l'ensemble des mycorhizes observées. Pour l'étude morphologique, les mycorhizes ont été observées à l'aide d'une loupe binoculaire, pour séparer les ectomycorhizes qui s'y trouvent en différents types, puis elles sont décrites en se basant sur la forme générale de la mycorhize, la couleur, la grosseur, la ramification, l'aspect de la surface du manteau, la présence ou l'absence du mycélium extra-matriciel ainsi que son importance, et la présence ou l'absence des cordons ou de rhizomorphes (BA *et al.*, 2011 ; GARBAYE, 2013). Des échantillons représentatifs de chaque type sont photographiés avant d'être conservés dans un fixateur, le FPA constitué de Formol-Acide propionique-Alcool 70° dans les proportions de 3-5-92 % en volume. L'étude anatomique a été réalisée sur des coupes transversales effectuées à main levée sur les ectomycorhizes fixées, puis colorées au bleu de lactophénol. Le montage a été effectué dans une goutte de lactoglycérol. L'observation au microscope optique a permis de mettre en évidence la structure du manteau fongique, l'aspect du réseau de HARTIG (mycélium hyper-ramifié qui entoure certaines cellules du cortex racinaire et assure une grande surface d'échanges), le nombre d'assises de cellules à tannins.

### **Analyse statistique**

Tous les résultats obtenus à l'âge de 7 mois sont soumis à une analyse de la variance, le dispositif étant en randomisation totale. Le test de NEWMAN-KEULS est utilisé pour comparer les moyennes obtenues ( $p < 0.05$ ). Ces analyses statistiques sont réalisées à l'aide du logiciel StatBox v. 6.4.

## RESULTATS

### Caractéristiques physicochimiques des substrats

Les caractéristiques physiques des sols sont résumées sur le tableau 1. Ces trois sols, selon la classification granulométrique USDA (RICHER de FORGES *et al.*, 2008), sont de texture limoneuse fine (55 à 70 % de limons). Cependant, le sol de Tikjda, qui comporte une fraction sableuse de près de 37 %, a une texture relativement plus équilibrée.

**Tableau 1.** Principales caractéristiques physiques des substrats utilisés (granulométrie)

	Texture (% de sol fin)		
	Argiles (< 2 µm)	Limons (2-50 µm)	Sables (50-2000 µm)
Tala Rana	10.5	68.6	20.9
Tala Guilef	11.5	69.6	18.9
Tikjda	8.7	54.5	36.8

Les caractéristiques chimiques des sols sont résumées sur le tableau 2.

**Tableau 2.** Principales caractéristiques chimiques des substrats utilisés

	pH (eau)	MO %	N (g.kg <sup>-1</sup> ) (Kjeldhal)	C (g.kg <sup>-1</sup> ) (méthode Anne)	C/N	Ca % (échangeable)	CaCO <sub>3</sub> % total
Tikjda	8,2	3,05	0,11	2,97	27	3,2	27,9
Tala Rana	7,4	2,92	0,09	2,34	26	9	15,5
Tala Guilef	6,8	3,95	0,17	2,38	14	1,8	7,7

Pour l'analyse de ces résultats, on s'est reporté au *guide des analyses en pédologie* de BAIZE (2006). Le sol de Tikjda présente un pH alcalin (> 7.5), bien pourvu en matières organiques (MO entre 3 et 4 %). Ce sol est fortement calcaire (25-50 % de calcaire total). Le sol de Tala Rana est à pH peu alcalin (7 à 7.5), bien pourvu en MO (entre 2 et 3 %, avec moins de 22 % d'argiles). Il est modérément calcaire (12.5-25 % de calcaire total) et relativement pauvre en azote total. Le sol de Tala Guilef a un pH neutre (6.5 à 7), bien pourvu en MO (entre 3 et 4 %). Ce sol est faiblement calcaire (5-12.5 % de calcaire total). On observe ainsi une différenciation de ces sols selon les stations, imputable en grande partie à des spécificités d'ordre lithologiques.

Selon la valeur du rapport entre le carbone organique et l'azote total (C/N > 25), l'humus du sol de Tikjda et de Tala Rana est de type mor et qualifié de peu évolué (activité biologique réduite, décomposition lente de la matière organique). Le sol de Tala Guilef présente au contraire un humus de type mull, bien décomposé (C/N < 15), à forte activité biologique. La discordance observée entre type de sol et forme d'humus (mor sur sol alcalin) est liée au problème, d'une part de la classification des humus, d'autre part de l'équilibre des sols par rapport à la végétation actuelle (GOBAT *et al.*, 2010). En outre, cette classification du type d'humus sur la base des valeurs du rapport C/N n'est qu'indicative, car ces valeurs peuvent différer au sein du même sol entre deux horizons humifères (GOBAT *et al.*, 2010).

### Morphogenèse de la partie aérienne des plants élevés sur différents substrats

Trois semaines après le semis, les graines du pin noir ont commencé à germer. Vers le 27ème jour, toutes les graines ont germé sur les trois sols. L'hypocotyle et les cotylédons sont les premières structures apparues sur les plantes après germination. La hauteur finale de l'hypocotyle (3,7 à 3,9 cm) a été atteinte vers le 3ème mois sur le sol de Tala Rana, et vers le 4ème mois sur les substrats de Tikjda et de Tala Guilef. Le diamètre moyen de l'hypocotyle est de 1,5 mm et le nombre moyen de cotylédons est de 8 par plant. Ces deux paramètres n'ont pas évolué durant l'expérimentation et sont donc indépendants de la nature du substrat utilisé. Le débourrement du bourgeon terminal et

l'apparition de la tige principale ou épicotyle sur le sol de Tala Rana a été constaté à l'âge de 3 mois, alors que sur les substrats de Tikjda et de Tala Guilef, ils n'ont été observés qu'à l'âge de 4 mois. Après l'extension totale des cotylédons, les euphylls (ou aiguilles primaires) chlorophylliennes se sont développées sur la tige principale suivant des hélices phyllotaxiques.

### **Architecture racinaire des plants élevés dans les différents substrats**

Après la germination des graines du pin noir, la première racine, qui se développe à partir de l'apex racinaire embryonnaire, est fortement orthotrope. C'est la racine primaire ou le pivot. L'émergence des racines latérales n'a commencé qu'à l'âge de 3 mois sur les 3 substrats. Ces racines latérales sont de deux types : des racines longues, se ramifiant appelées macrorhizes, et d'autres courtes, se ramifiant peu ou pas, à croissance lente et à extrémités arrondies, appelées brachyrhizes. On sait, en effet, que les racines des arbres à ectomycorhizes ont une structure hiérarchisée : des racines longues s'allongent en permanence par leur extrémité en se ramifiant et portent latéralement des racines courtes qui sont le siège de la symbiose ectomycorhizienne (GARBAYE, 2013). Ces racines courtes ne présentent pas de coiffe à leur extrémité et chez le genre *Pinus*, qu'elles soient mycorhizées ou non, elles adoptent spontanément une forme en Y en se divisant en deux à leur extrémité (GARBAYE, 2013).

Sur les sols de Tikjda et de Tala Guilef, l'appareil racinaire des plants âgés de 3 mois est peu développé, il se limite à un pivot sur lequel apparaissent quelques racines latérales, et il n'est pas mycorhizé. Par contre, pour les plants élevés sur le sol de Tala Rana, le système racinaire est plus développé et forme un nombre un peu plus élevé de racines longues et de racines courtes, également non encore mycorhizées.

Durant ces premiers mois, la croissance du pivot est continue et la formation de racines courtes susceptibles d'être mycorhizées est faible. Cette croissance continue du pivot peut être due à l'absence d'obstacles (sols débarrassés de cailloux, culture en sachet de polyéthylène).

### **Caractéristiques des premières ectomycorhizes obtenues et diversité des types morphologiques ectomycorhiziens**

Toutes les ectomycorhizes observées en pépinière sur les racines de pin noir sont typiques : existence d'un manteau fongique autour de la racine mycorhizée et d'un réseau de Hartig entre les cellules corticales. L'observation microscopique des racines écrasées entre lame et lamelle a révélé des structures propres de toute infection endomycorhizienne.

La mycorhization naturelle des plants de pin noir en pépinière forestière, sur différents substrats naturels, est variable en fonction du temps et du type de sol. Les premières mycorhizes sont apparues à l'âge de 4 mois sur le sol de Tala Rana et, plus tardivement, à 5 mois sur les sols de Tikjda et de Tala Guilef. Ces mycorhizes sont plus diversifiées chez les plants élevés sur le sol de Tala Rana, puisque 8 types morphologiques ou morphotypes distincts sont décrits (Planche, figures 1 à 14) à 4 mois. Ils sont réduits à 3 types pour le sol de Tikjda (Planche, figures 13 à 18) et à un seul type pour le substrat de Tala Guilef à 5 mois dans les deux cas. Ce type ectomycorhizien est commun aux deux autres sols ; il s'agit de la mycorhize orange simple avec un mycélium extramatriciel faiblement développé (Planche, figures 13 et 14). A 7 mois, les systèmes racinaires des plants de pin noir élevés dans les 3 sols sont abondamment mycorhizés. Mais, le nombre de types morphologiques de mycorhizes décrits sur chacun des 3 sols est encore variable. Sur le sol de Tala Rana, le plus grand nombre de types morphologiques distincts a été observé sur les racines, soit 10 types, parmi lesquels 7 sont nouveaux (Planche, figures 21 à 32). Par contre, dans le sol de Tikjda, 3 types morphologiques ont été décrits, dont une nouvelle ectomycorhize (Planche, figures 19 et 20). Sur le sol de Tala Guilef, le moins diversifié, un seul type morphologique, le même observé à 5 et 7 mois, a été décrit.

Cette diversité morphologique des ectomycorhizes correspond à la diversité spécifique fongique, car c'est le champignon qui détermine l'aspect de la mycorhize.

## Statut mycorhizien et développement des plants âgés de 7 mois élevés dans les différents substrats

Les résultats de l'influence des différents substrats sur la hauteur de la tige principale, le nombre de racines courtes et le taux de mycorhization des plants de pin noir âgés de 7 mois sont rassemblés dans le tableau 3.

**Tableau 3.** Hauteur moyenne de la tige principale, nombre moyen de racines courtes et pourcentage de mycorhization des plants de pin noir âgés de 7 mois produits dans différents sols. (moyenne de 5 plants)

	Sol de Tala Rana	Sol de Tikjda	Sol de Tala Guilef
Hauteur moyenne de la tige (cm)	3,66 ± 0.39 <sup>a(1)</sup>	2,26 ± 0.18 <sup>b</sup>	2,50 ± 0.24 <sup>b</sup>
Nombre moyen de racines courtes	98,4 ± 10.01 <sup>a</sup>	39,6 ± 4.93 <sup>b</sup>	44,4 ± 4.16 <sup>b</sup>
Taux de mycorhization (%)	82,03 ± 3.64 <sup>a</sup>	73,72 ± 5.24 <sup>b</sup>	63,13 ± 5.05 <sup>c</sup>

<sup>(1)</sup> Les données d'une même ligne suivies par une même lettre ne sont pas significativement différentes d'après l'analyse de variance à un facteur ( $p < 0.05$ ).

La hauteur de la tige principale ainsi que le nombre de racines courtes sont nettement plus élevés dans le sol de Tala Rana par rapport aux deux autres sols. Cette différence est significative pour ces deux paramètres. Par contre, la différence n'est pas significative entre les sols de Tikjda et de Tala Guilef, pour ces mêmes paramètres. Concernant le taux de mycorhization, ce dernier est le plus important dans le sol de Tala Rana, suivi du sol de Tikjda et enfin, du sol de Tala Guilef. Il existe une différence significative entre les 3 sols.

D'autre part, le nombre de racines courtes et le taux de mycorhization des plants de pin noir sont fortement liés pour chaque type de sol, car la corrélation linéaire entre ces deux paramètres est très élevée (0.95 pour le sol de Tala Rana, 0.98 pour celui de Tala Guilef et 0.99 pour Tikjda).

## DISCUSSION

Le manque de mycorhizes a toujours été un problème dans les pépinières forestières (MOLINA, 1981). En effet, ABOUROUH (2000) note que la mycorhization naturelle en pépinière des plants de divers pins (*Pinus canariensis*, *P. pinaster* var. *maghrebiana*, *P. pinaster* var. *atlantica* et *P. halepensis*), si elle existe dans la plupart des cas, elle reste souvent faible et aléatoire. D'autre part, la mycorhization est conditionnée par la présence de racines courtes (ALDRICH-BLAKE, 1930 in ABOUROUH, 1994). L'architecture racinaire du pin noir peut donc être un facteur limitant, dans la mesure où un faible développement du système racinaire entraîne l'absence de racines courtes réceptives à la mycorhization. En effet, il ressort de cette étude que le système racinaire des plants de pin noir présente un nombre de racines courtes très faible (une moyenne de 39 à 98 par plant) durant les premiers mois de culture.

Dans cette étude, on constate que la mycorhization du pin noir s'effectue naturellement au stade juvénile. Toutefois, cette mycorhization naturelle en pépinière forestière des plants de pin noir a débuté à l'âge de 4 mois sur le sol de Tala Rana et à 5 mois sur les sols de Tikjda et de Tala Guilef. Ces résultats sur le pin noir rejoignent ceux de HOCINE (1998) sur le Cèdre de l'Atlas en pépinière, qui signale une mycorhization tardive, à la fin du 3ème mois. SMAIL (2009) a constaté une mycorhization encore plus tardive de jeunes pins noirs sur sol de chênaie, où les premières mycorhizes sont apparues à l'âge de 7 mois. Cette mycorhization tardive peut s'expliquer, au moins en partie, si l'on admet la théorie de BJÖRKMAN (1949) suivant laquelle la formation des mycorhizes est sous la dépendance du taux de glucides des racines, c'est-à-dire de l'activité photosynthétique de l'hôte, qui serait plus importante avec l'apparition de la tige principale (plus de surface foliaire). En effet, dans chaque sol testé, ce n'est qu'après débourrement du bourgeon terminal et apparition de la tige principale, qu'apparaissent les premières mycorhizes sur les jeunes plants de pin noir.

Le sol récepteur joue un rôle essentiel, car les caractéristiques physico-chimiques et biologiques interviennent en modifiant l'intensité de la mycorhization (MOSSE *et al.* 1980 ; HARLEY 1984 ;

PERRIN *et al.* 1997). A partir de 5 et 6 mois, le taux de mycorhization a dépassé 50 % sur les trois sols, seuil considéré par certains auteurs comme un minimum pour espérer des effets bénéfiques après reboisement (RUEHLE & BRENDENMUEHL, 1981 ; MARX *et al.*, 1984). Sur le sol de Tala Rana, nous avons enregistré un taux moyen de mycorhization supérieur à 80 % à l'âge de 7 mois. Ce substrat présente une bonne réceptivité à l'inoculum naturel et donc à la mycorhization. Sur ce sol, où les mycorhizes sont plus diversifiées (10 types morphologiques à 7 mois), la diversité ectomycorhizienne serait due aux caractéristiques des sols (tableau 4) et à la disponibilité de l'inoculum des espèces fongiques concernées, relativement à la réceptivité de la plante (NEWTON, 1992).

**Tableau 4.** Les différentes mycorhizes observées sur les racines des jeunes pins noirs en pépinière en fonction des substrats à différents âges

Stations	Type d'humus	Type de sol	Age	Nombre de mycorhizes
Tala Rana	Mor (C/N > 25)	modérément calcaire (12.5-25 % de calcaire total)	4 mois	8
			7 mois	10
Tikjda	Mor (C/N > 25)	fortement calcaire (25-50 % de calcaire total)	5 mois	3
			7 mois	3
Tala Guilef	Mull (C/N < 15)	faiblement calcaire (5-12.5 % de calcaire total)	5 mois	1
			7 mois	1

La formation en pépinière des mycorhizes sur les pins dépend de plusieurs facteurs, dont le principal est l'efficacité de la source de l'inoculum du sol (THAPAR & PALIWAL, 1982). En effet, ce résultat sur le sol de Tala Rana peut être aussi lié à la diversité des populations microbiennes de ce substrat, qu'il s'agisse d'espèces mycorhiziennes ou de bactéries et de champignons de la rhizosphère (HOCINE *et al.*, 1994 ; NEZZAR-HOCINE *et al.*, 1997, 1998). Ces facteurs microbiens constituent la composante majeure de la réceptivité des sols forestiers à la mycorhization (PERRIN & SALERNO, 1994) et l'infection ectomycorhizienne est le résultat de la compétition des champignons entre eux et d'interactions avec d'autres micro-organismes du sol (De OLIVIERA & GARBAYE, 1989).

Sur le sol de Tala Rana, type de substrat le plus favorable au Pin noir, cette mycorhization multiple procure un avantage considérable à la plante, dans la mesure où son adaptation écologique peut être fortement accrue (DUVERT, 1987 ; HOCINE, 1998). Sur ce sol, la hauteur de la tige principale et le nombre de racines courtes sont significativement plus importants que sur les substrats de Tikjda et de Tala Guilef, et ce, malgré la carence en azote du sol de Tala Rana. Ce développement important des plants sur ce substrat serait dû à la très grande efficacité des ectomycorhizes à récupérer l'azote de tout organisme mort, y inclus celui des litières (FORTIN *et al.*, 2008).

## CONCLUSION

En pratique, il ressort de cette étude effectuée dans une pépinière que le pin noir peut se mycorhizer en utilisant un inoculum naturel provenant de son aire d'origine et des sites où il végète. Cette étude permet ainsi de choisir le site le plus favorable de prélèvement d'un sol forestier pour l'inoculation des plants *ex situ*. Un meilleur contrôle de cette mycorhization naturelle en pépinière pourrait aboutir à la production de plants de grande qualité.

Enfin, en Algérie, il y a encore peu d'informations disponibles sur l'identification des ectomycorhizes, mais l'utilisation de nouvelles technologies, comme le typage moléculaire (BA *et al.*, 2011), permettra à court terme leur identification systématique. Un tel résultat pourra préciser le nombre de candidats fongiques potentiels pour l'inoculation de plants de pin noir en pépinière et le rôle qu'ils peuvent jouer dans le processus de régénération assistée de la pineraie naturelle à *Pinus nigra* subsp. *mauretanica* au Djurdjura.

## REFERENCES

- ABOUROUH M., 1994. Les ectomycorhizes du Cèdre de l'Atlas : état des connaissances et perspectives. *In* : Le Cèdre de l'Atlas *Cedrus atlantica* (Manetti). Silva Mediterranea / O. M'Hirit, A. Samih, M. Malagnoux (éds.). Actes du Séminaire international sur le Cèdre de l'Atlas, Ifrane (Maroc), 7-11 juin 1993. *Annales de la Recherche forestière au Maroc*, n° 27 (spécial), vol. 1, 337-348.
- ABOUROUH M., 2000. Mycorhizes et mycorhization des principales essences forestières du Maroc. Thèse de doctorat d'état, Université Mohamed V, Faculté des Sciences, Rabat, 175 p.
- BA A., DUPONNOIS R., DIABATE M., & DREYFUS B., 2011. Les champignons ectomycorhiziens des arbres forestiers en Afrique de l'Ouest. *IRD* (éd.), 252 p.
- BAIZE D., 2006. Guide des analyses en pédologie. INRA (éd.), 266 p.
- BJÖRKMANN E., 1949. The ecological significance of the ectotrophic mycorrhizal association in forest trees. *Sven. Bot. Tidskr.*, 43, 223 p.
- DE OLIVIERA V.L. & GARBAYE J., 1989. Les micro-organismes auxiliaires de l'établissement des symbioses ectomycorhiziennes. *Revue bibliographique. Eur. J. For. Pathol.*, 19 : 54-64.
- DUVERT P., 1987. Réceptivité des sols aux associations mycorhiziennes et aptitude prophylactique des mycorhizes. Thèse de doctorat 3<sup>ème</sup> cycle, Université de Bourgogne, 171 p.
- FORTIN J.A., PLENCHETTE C. ET PICHE Y., 2008. Les mycorhizes, la nouvelle révolution verte. *QUAE* (éd.), 131 p.
- GARBAYE J., 2013. La symbiose mycorhizienne. Une association entre les plantes et les champignons. *QUAE* (éd), 251 p.
- GARBAYE J. & WILHELM M.E., 1984. Influence de la mycorhization acquise en pépinière sur la mycorhization de jeunes plantations de chêne. *Acta Oecologia, Oecol. Plant.*, 19 (2) : 151-161.
- GOBAT J.M., ARAGNO M. & MATHEY W., 2010. Le sol vivant. Bases de pédologie – Biologie des sols. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 817 p.
- HARLEY J.L., 1984. Mycorrhiza and soil ecology. *Biol. Rev.*, 23: 127-158.
- HOCINE H., 1998. Associations mycorhiziennes naturelles de *Cedrus atlantica* dans le massif du Djurdjura (Algérie) et mycorhization contrôlée. Thèse de doctorat, Université Blaise Pascal, 479 p.
- HOCINE H., BELARBI R., PERRIN R. & CHEVALIER G., 1994. Possibilités de mycorhization de *Cedrus atlantica* Manetti. *Ann. Rech. For. Maroc*, 27 (1) : 350-361.
- MARX D.H., HATCH A.B. & MENDICINO J.F., 1977. High soil fertility decreases sucrose content and susceptibility of loblolly pine roots to ectomycorrhizal infection by *Pisolithus tinctorius*. *Can. J. Bot.*, 55: 1569-1574.
- MARX D.H., CORDELL C.E., KENNY P.S., MEXAL J.G., ARTMAN, J.D., RITTLE J.W. & MOLINA R.J., 1984. Commercial vegetative inoculums of *Pisolithus tinctorius* and inoculation techniques for development of ectomycorrhize on bare root tree seedlings. *For. Sc. Monog.*, 75 : 1-10.
- MEDDOUR R., 2010. Bioclimatologie, phytogéographie et phytosociologie en Algérie. Exemple des groupements forestiers et préforestiers de la Kabylie djurdjuréenne. Thèse de doctorat d'état, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, 397 p.
- MIKOLA P., 1973. Application of mycorrhizal symbiosis to forestry practice. *In*: Marks G.C. & Kozłowski T.T. (eds.), *Ectomycorrhizae, their ecology and physiology*, Academic Press. New York-London, 383-411.
- MOLINA R., 1981. Ectomycorrhizal specificity in the genus *Alnus*. *Can. J. Bot.*, 59: 325-334.
- MOSSE B., STRIBLEY D.P. & LE TACON F., 1980. Ecology of mycorrhizae and mycorrhizal fungi. *In*: Alexander M. (ed.). *Advances in microbial ecology*, New York, Cornell University, Plenum publishing corporation, 4: 137 - 210.
- NEWTON A.C., 1992. Towards functional classification of ectomycorrhizal fungi. *Mycorrhiza*, 2 : 75-79.
- NEZZAR-HOCINE H., PERRIN R., HALLI-HARGAS R. & CHEVALIER G., 1997. Ectomycorrhizal association with *Cedrus atlantica* (Endl.) Manetti ex Carrière. I. Mycorrhizal synthesis with *Tricholoma tridentinum* Singer var. *cedretorum* Bon. *Mycorrhiza*, 8, 47-51.
- NEZZAR-HOCINE H., BOUTEVILLE R.J., GUINBERTEAU J., PERRIN R. & CHEVALIER G. 1998. La microflore fongique de *Cedrus atlantica* (Endl.) Manetti ex Carrière. II. Les champignons ectomycorhiziens d'une cédraie du massif du Djurdjura (Algérie). *Cryptogamie-Mycologie*, 19 (1-2):139-161.
- PERRIN R., DUVERT P. & PLENCHETTE C., 1988. Substrate receptiveness to mycorrhizal association. Concepts, methods and applications. *Acta Hort.*, 221: 223-228.
- PERRIN R. & SALERNO M.I., 1994. Current developments in research related to the influence of mycorrhizae on plant protection and resistance to a biotic stresses. *In*: C. Azcon-Aguilar & J.M. Barea (eds.). *Mycorrhizas in integrated systems from genes to plant development*. European Commission EUR 1672, Luxembourg, 401-406.
- PERRIN R., PARLADE X. & PERA J., 1997. Receptiveness of forest soils to ectomycorrhizal association. I. Concept and method as applied to *Laccaria bicolor* (Maire) Orton., *Pinus pinaster* Ait. and *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco symbiosis. *Mycorrhiza*, 6: 469-476.

RICHER DE FORGES A., FELLER C., JAMAGNE M. & ARROUAYS D., 2008. Perdus dans le triangle des textures. *Etude et gestion des sols*, 15, 2 : 97-111.

RUEHLE J.L. & BRENDENMUEHL R.H., 1981. Performance of Choctawhatchee sand pine seedlings inoculated with ectomycorrhizal fungi outplanted in the sandhills of north Florida, US. For. Serv, Res. Note SE 301: 7 p.

SLANKIS V., 1974. Soil factors influencing formation of mycorrhizae. *Ann. Rev. Phytopath.*, 12: 437-457.

SMAIL A., 2009. Contribution à l'étude de la problématique du Pin noir. Etude de l'état mycorhizien de jeunes plants obtenus en pépinière avant et après introduction d'un inoculum provenant de la réserve naturelle de Tikjda. Mémoire de Magister, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, 83 p.

THAPAR H.S. & PALIWAL D.P., 1982. Studies on pine mycorrhiza in nursery seedling. *Indian forester*, 108 (1): 51-59.

## **Annexe**

## Planche

### Légende :

- 1 : Mycorhize marron à sa base puis blanche, non ramifiée, le mycélium extramatriciel est peu abondant. On constate la présence d'un gros rhizomorphe marron.
- 2 : Coupe transversale de la mycorhize précédente montrant un manteau épais pseudo- parenchymateux, un réseau de Hartig qui s'immisce sur plusieurs assises cellulaires et des tannins assez abondants. (Grossissement : X 440).
- 3: Mycorhize marron à distribution coralloïde, le mycélium extramatriciel est abondant recouvre presque toute la mycorhize. On constate la présence de quelques cordons et rhizomorphes.
- 4: Mycorhize marron simple, le mycélium extramatriciel cotonneux est abondant retient des particules de sol.
- 5 : Coupe transversale de la mycorhize précédente. Le manteau est épais et pseudo-parenchymateux. Le réseau de Hartig entoure 2 à 3 couches de cellules corticales, l'assise à tannins est bien visible. (X 440).
- 6: Mycorhize blanche à ramification simple, le mycélium extramatriciel est assez abondant et cotonneux.
- 7: Coupe transversale de la mycorhize précédente. Le manteau est peu épais et pseudo-parenchymateux, le réseau de Hartig s'immisce entre 2 ou 3 assises cellulaires. La couche tannifère est bien visible. (X 480).
- 8: Mycorhize blanche, simple. Le mycélium extramatriciel est très peu abondant.
- 9 : Mycorhize orange simple. Le mycélium extramatriciel est peu développé composé d'hyphes blancs courts.
- 10: Coupe transversale de la mycorhize précédente montrant un manteau épais, plectenchymateux, un réseau de Hartig sur plusieurs couches de cellules corticales et une couche tannifère importante. (X 440).
- 11: Mycorhize orange claire, simple. Le mycélium extramatriciel recouvre l'extrémité de la mycorhize
- 12: Coupe transversale de la mycorhize précédente. Le manteau est épais plectenchymateux, le réseau de Hartig se développe entre les 2 premières assises cellulaires. (X 440).
- 13: Mycorhize orange simple. Le mycélium extramatriciel est peu abondant, on observe la présence de quelques rares cordons
- 14: Coupe transversale de la mycorhize précédente. Le manteau est épais et plectenchymateux, le réseau de Hartig bien développé s'immisce entre plusieurs cellules corticales (X 440).
- 15: Mycorhize orange légèrement marron, à ramification dichotomique. Elle est lisse.
- 16: Coupe transversale de la mycorhize précédente montrant un manteau fongique peu épais, un réseau de Hartig peu développé et une couche de cellule à tannins. (X 480).
- 17: Mycorhize marron à extrémité plus claire, non ramifiée, elle présente des étranglements. Le mycélium extramatriciel peu abondant est localisé surtout à sa base.
- 18: Coupe transversale de la mycorhize précédente. Le manteau est épais et plectenchymateux, le réseau de Hartig est bien visible sur 2 à 3 couches de cellules corticales. La couche tannifère est importante. (X 480).
- 19: Mycorhize orange, longue et non ramifiée. Le mycélium extramatriciel est peu abondant formé d'hyphes très courts retenant parfois des particules de sol.
- 20: Coupe transversale de la mycorhize précédente montrant un manteau fongique épais pseudo-parenchymateux. Le réseau de Hartig bien développé s'immisce entre 4 assises de cellules du parenchyme cortical. Les tannins sont bien visibles. (X 480)
- 21: Mycorhize marron à sa base et orange aux extrémités, à distribution monopodiale. Le mycélium extramatriciel orange est très abondant, on distingue un gros rhizomorphe bien structuré, ramifié, long et attaché à la mycorhize.
- 22: Coupe transversale de l'ectomycorhize précédente. Le manteau est très épais et plectenchymateux, le réseau de Hartig bien développé s'étend sur 3 couches de cellules corticales. Les tannins sont présents. (X 480).
- 23: A gauche et en haut de la photo : mycorhize orange et dichotomique, le mycélium extramatriciel est peu abondant, il est absent à la base au diamètre plus réduit de l'ectomycorhize, il est sous forme de touffe à l'extrémité. A droite et en bas de la photo : mycorhize simple marron, avec des reflets brun jaune. Le mycélium extramatriciel est peu abondant, la base de l'ectomycorhize est dépourvue de mycélium.
- 24: Coupe transversale de la mycorhize dichotomique précédente : le manteau fongique est épais et plectenchymateux, le réseau de Hartig se développe sur les 2 premières assises cellulaires du parenchyme cortical. L'assise à tannin est importante. (X 480).
- 25: Coupe transversale de la mycorhize simple précédente : le manteau épais est pseudo-parenchymateux, le réseau de Hartig se développe sur plusieurs couches cellulaires et les tannins sont assez abondants. (X 480).
- 26: Mycorhize marron à sa base et orange aux extrémités. Elle est à distribution dichotomique, le mycélium extramatriciel est abondant sous différentes formes. A la base de l'ectomycorhize, il est sous forme d'hyphes fins retenant des particules de sol, à son extrémité il est sous forme cotonneux. On distingue un gros rhizomorphe blanc.
- 27: Coupe transversale de la mycorhize précédente. Le manteau est très épais et pseudo-parenchymateux, le réseau de Hartig s'immisce entre 3 à 4 couches cellulaires. La couche à tannins est importante. (X 440).
- 28: Mycorhize marron à orange, à distribution dichotomique. Le mycélium extramatriciel est peu abondant, il est formé d'hyphes fins blancs et courts retenant des petites particules de sol bien adhérentes à la mycorhize. Située sur le même axe et à droite de la mycorhize précédente, cette ectomycorhize est simple, marron et longue, le mycélium extramatriciel est peu abondant, formé d'hyphes fins retenant des particules de sol formant des agglomérats caractéristiques.
- 29: Coupe transversale de la mycorhize dichotomique précédente : le manteau fongique est épais et pseudo-parenchymateux, le réseau de Hartig bien développé entoure les cellules de plusieurs couches de l'assise corticale, les cellules à tannins sont assez présentes. (X 440).
- 30: Coupe transversale de la mycorhize simple précédente : le manteau est épais et pseudo-parenchymateux, le réseau de Hartig se développe sur 2 à 3 assises cellulaires et la couche à tannins est bien visible. (X 440).

**31:** Mycorhize marron foncé, simple et longue, le mycélium extramatriciel, peu abondant, est localisé surtout à son extrémité sous forme d'une petite touffe blanchâtre. La partie basale de l'ectomycorhize, au diamètre réduit, est dépourvue de manteau.

**32:** Coupe transversale de la mycorhize précédente. Le manteau est très épais pseudo-parenchymateux, il présente des ornementations. Le réseau de Hartig s'étend sur 2 assises corticales, on observe une petite couche de cellule à tannins. (X 480).

