

Effet de la mycorhization contrôlée sur la croissance de l'arganier (*Argania spinosa*) après sa transplantation en sol non désinfecté

Nouaïm R.¹ et Chaussod R.²

¹ Faculté des sciences, Université Ibnou Zohr, BP 28/S - Agadir (Maroc)

² INRA, Microbiologie des sols, BV1540 - 21034 Dijon Cedex (France)

Résumé

L'effet d'une pré-inoculation par un champignon endomycorhizien (*Glomus intraradices*) a été étudié sur la croissance de plants d'arganier (*Argania spinosa*) après leur transplantation dans un sol non désinfecté. Les plants de deux clones différents (0 et 17), produits par micro-propagation in-vitro, ont été séparés en deux lots, l'un mycorhizé l'autre non. Ils se sont développés pendant six mois dans un substrat désinfecté et avaient au moment de la transplantation une longueur moyenne des axes aériens de 242 mm et 310 mm chez les plants témoins et 781 mm et 1196 mm chez les plants mycorhizés pour les clones 0 et 17 respectivement. Les plants ont été ensuite transplantés dans un mélange terragreen, tourbe et sol. Tous les plants ont été très vite infectés par les souches endomycorhiziennes se trouvant dans le sol de culture, mais la différence entre les deux traitements s'est maintenue après transplantation. Après un an et demi de croissance dans ces conditions, les plants pré-inoculés avaient produit des biomasses plus importantes, le poids sec moyen chez le clone 0 étant de 40 g et 119 g pour les plants témoins et pré-inoculés respectivement, alors que pour le clone 17, ces valeurs étaient respectivement de 124 g et 168 g. La pré-inoculation par une souche efficace procure donc un net avantage pour la croissance des plantules d'arganier. Cette technique mériterait d'être envisagée dans la pratique courante des pépinières comme cela se pratique déjà dans certains pays pour d'autres espèces de ligneux.

Mots clés : *Argania spinosa*, croissance, *Glomus intraradices*, mycorhization, transplantation.

Abstract: Effect of mycorrhization on the growth of Argan tree (*Argania spinosa*) after planting out in non-sterile soil

The effect of a pre-inoculation by an arbuscular mycorrhizal fungus (*Glomus intraradices*) on plantlets of argan tree (*Argania spinosa*) was studied after planting out in a non-disinfected soil. Plantlets from two different clones (0 and 17) were produced by in-vitro propagation and divided into two treatments (inoculated and uninoculated). After a 6 month growth period in a disinfected substrate, the average lengths of aerial axes were 242 mm and 310 mm for control plants and 781 mm and 1196 mm for inoculated plants for clone 0 and clone 17, respectively. Then, the plants were transferred to a potting medium composed of terragreen (calcinated clay), peat and soil. The plantlets were quickly infected by indigenous arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and the «control» plants became mycorrhizal. However, the difference induced by the previous treatment was maintained after planting out. After about 18 months, the pre-inoculated plants still exhibited a higher biomass than the «control» plants, with respectively 119 g and 40 g for clone 0, and 168 and 124 g for clone 17. Pre-inoculation of argan tree plantlets by an efficient strain of AMF is therefore an advantage for their growth. This technique could be recommended in nursery production of argan trees, as it is already the case in other countries for other woody species.

Key words: *Argania spinosa*, growth, *Glomus intraradices*, mycorrhization, planting out

ملخص : تأثير التفطر الجذري المراقب على نمو شجيرات أركان (*Argania spinosa*) بعد

نقلها في تربة غير معقمة

ر. نوعيم 1 و غ. شوسو 2

1 : كلية العلوم، جامعة ابن زهر، أكادير، المغرب

2 : المعهد الوطني للبحث الزراعي، ديجون، فرنسا

درسنا تأثير فصيلة من التفطر الجذري (*Glomus intraradices*) على نمو شجيرات "أركان" بعد نقلها في تربة غير معقمة. تنتمي الشجيرات إلى لمتين 0 و 17 تكاثرت في بيئة اصطناعية ثم قسمت إلى مجموعتين : الأولى تلقت التفطر الجذري و الثانية استعملت كشاهد. كل الشجيرات نمت في بيئة معقمة لمدة ستة أشهر ثم زرعت في خليط يحتوي على تربة غير معقمة. عند زرعها كان متوسط طول النباتات التي لا تتحمل التفطر 242 ملم بالنسبة للمة 0 و 310 ملم بالنسبة للمة 17 في ما بلغ طول النباتات في اللمة 0 التي تتحمل التفطر 781 ملم و 1196 ملم للمة 17 بعد مدة قصيرة حملت كل النباتات تفطرا جذريا من بين ما يوجد في

تربة الزراعة، ولكن الفرق بين الحصتين استمر بعد سنة و نصف من النمو. أنتجت (بالوزن الجاف) النباتات التي حملت التفطر منذ البداية 119 غ بالنسبة للمة 0 و 168 غ بالنسبة للمة 17، في حين لم تنتج الأخرى إلا 40 غ بالنسبة لـ : 0 و 124 غ بالنسبة لـ : 17.

يبدو من خلال هذه التجربة أن تلقيح النباتات منذ البداية يكسبها فائدة كبيرة بعد الزراعة. وهذه الطريقة تستحق التطبيق في تقنيات المشاتل لشجيرات «أركان».

الكلمات المفتاحية : *Glomus Intraradices, Argania spinosa*, التفطر الجذري، نمو.

نقل

Introduction

L'arganier, arbre endémique du Sud Ouest marocain présente un grand intérêt économique et écologique pour cette région (Nouaïm *et al.* 1991). Dans de nombreuses zones, cet arbre est la base de systèmes agroforestiers traditionnels. Or, un déséquilibre écologique d'origine essentiellement anthropique conduit à la régression continue des arganeraies dont la disparition pourrait conduire à l'effondrement de ces agro-écosystèmes avec de sérieuses implications socio-économiques. Plusieurs études ont montré que la solution pour ces régions doit passer par la sauvegarde des espèces indigènes qui sont les mieux adaptées à leur milieu. L'utilisation des biotechnologies pourrait contribuer à optimiser les systèmes traditionnels par l'amélioration de ces espèces et l'augmentation de leur production (Sasson 1993). Ces techniques impliquent la multiplication de plants sélectionnés sur des critères de production, mais aussi de résistance aux maladies et aux stress de l'environnement, en accordant une importance toute particulière à la gestion du système racinaire.

La régénération naturelle des forêts d'arganier est totalement absente, en raison de la surexploitation et du fait que les graines ne trouvent plus dans le milieu naturel des conditions satisfaisantes pour germer (Arif 1994). Des programmes de reboisement pour lutter contre la désertification de la région ont été établis (M'Hirit 1989 ; Bougrine 1989), faisant appel à la production de plants en pépinière, mais dans la plupart des cas, ces programmes se sont heurtés à l'échec de la transplantation. Le succès de la transplantation peut dépendre de façon importante du système racinaire et de ses symbioses. Nous avons observé que dans la nature l'arganier porte des endomycorhizes à vésicules et arbuscules (Nouaïm 1994). Or il est maintenant établi que la mycorhization, qui concerne la plupart des plantes, contribue à leur croissance et à leur nutrition minérale (Mosse 1973 ; Gianinazzi-Pearson 1982 ; Tinker 1984) ainsi qu'à leur résistance au stress de la transplantation (Menge *et al.* 1978). L'intérêt de cette symbiose est encore plus important dans les zones arides où les sols sont secs et souvent pauvres en phosphore (Diem *et al.* 1981 ; Mikola 1987).

Nous nous sommes donc intéressés à l'effet de la mycorhization sur la croissance initiale de l'arganier. Dans des conditions expérimentales bien contrôlées, cet arbre s'est avéré très dé-

pendant de l'inoculation par une souche sélectionnée de champignon endomycorhizien (Nouaïm et Chaussod 1994). Cependant, des plants introduits dans un sol non stérile doivent se mycorhizer spontanément, et des auteurs ont montré que la mycorhization spontanée en pépinière ou au champ ne garantit pas un réel avantage après transplantation (Fontana *et al.* 1982). La mycorhization dans ce cas a lieu avec les souches les plus infectieuses qui ne sont pas forcément les plus efficaces pour la croissance des plantes hôtes.

Il était donc primordial de vérifier si la pré-inoculation de plantules d'arganier leur procurait un avantage durable après leur réintroduction dans le sol, par rapport à des plantes non inoculées susceptibles d'être infectées par des champignons endomycorhiziens indigènes.

Matériel et méthodes

Dans ce travail, des plants d'arganier produits par micro-propagation *in-vitro* ont été pré-inoculés ou non par une souche de *Glomus intraradices*. Puis, après environ 6 mois de croissance, nous avons transplanté ces plants dans un sol non désinfecté et suivi leur croissance pendant plus d'un an et demi. A la fin de l'expérience, tous les plants ont été prélevés et nous avons mesuré leur biomasse et leur statut mycorhizien.

Matériel végétal, inoculation et conditions de croissance.

Les plantules d'arganier utilisées ont été produites par micro-propagation *in-vitro* à partir des clones 0 et 17 (Nouaïm 1994), 10 plants de chaque clone étant utilisés pour cette expérience. A la fin de la phase d'acclimatation, les plants ont été transplantés dans des pots de 2 litres contenant 900 g de terragreen (argile calcinée) imprégné de 670 ml de la solution nutritive de Long Ashton (Hewitt 1966), apportant 31 mg.kg⁻¹ de P-PO₄ et 95 mg.kg⁻¹ de N-NO₃. Pour chaque clone, les plants ont été séparés en deux lots, 5 individus étant inoculés et 5 autres restant non inoculés (traitement témoin). L'inoculum provenait d'un isolat de *Glomus intraradices* sélectionné par Plenchette *et al.* (1981) et maintenu en serre sur poireau. Pour l'inoculation, des racines de poireau sont prélevées, lavées à l'eau et découpées en fragments de 1 à 2 mm puis mis en suspension dans l'eau stérile. Chaque plant mycorhizé est inoculé avec 0,5 g (poids frais équivalent à 36 mg poids sec) de racines mycorhizées, apportées directement au contact des racines des plants d'arganier au moment de la transplantation. Les pots ont été placés en salle climatisée à une température de 23 °C le jour et 21 °C la nuit et un éclairage de 16 heures par jour apportant 400 µM.m⁻².s⁻¹. Ils ont été arrosés quotidiennement par de l'eau déionisée en tenant compte du poids initial et de la matière fraîche formée. Pendant cette phase, la croissance a été suivie par des mesures hebdomadaires de la longueur des parties aériennes, y compris le nombre et la longueur des axes secondaires en fonction de leur apparition.

Cinq mois et demi après inoculation pour le clone 0 et six mois après pour le clone 17, les plants ont été transplantés dans des cylindres en plastique (Chlorure de PolyVinyl) de 500 mm de hauteur et 150 mm de diamètre et dont le volume utile est de 8,5 litres. Ces pots ont été remplis d'un mélange formé de terragreen, de tourbe et d'un sol sableux provenant d'Auxonne

(Côte d'Or, France) et dont les propriétés physico-chimiques sont proches de celles du sol de l'arganaie d'Ademine, dans la plaine du Souss, au Maroc (Nouaïm 1994). Les plantes ont ensuite été placées en serre durant plus d'un an et demi, et arrosées régulièrement avec de l'eau déionisée. Durant cette phase, les plants n'ont reçu que deux fertilisations, apportant 300 ml de la solution nutritive de Long Ashton par pot.

Mesures et prélèvements

Au moment de la transplantation, un échantillon moyen de racines a été prélevé pour vérifier l'absence de mycorhization chez les plants témoins et mesurer les paramètres de la mycorhization chez les plants inoculés, selon la méthode de Trouvelot *et al.* (1986).

Deux mois après transplantation, un échantillon du système racinaire a été prélevé sur chaque plante, éclairci et coloré selon la méthode de Phillips et Hayman (1970) pour vérifier la présence d'une infection mycorhizienne.

La croissance des parties aériennes a été mesurée à 4 dates pour le clone 0 et à 3 dates pour le clone 17. A la fin de l'expérience, soit 28 et 27 mois après inoculation pour les clones 0 et 17 respectivement, le poids frais et sec des feuilles, tiges et racines ainsi que le diamètre au collet des plants ont été mesurés. L'influence de la préinoculation a été appréciée, pour chaque clone et pour chacun des paramètres mesurés, par une comparaison des moyennes observées dans les deux traitements, à l'aide du test de Student-Fisher (Heller 1974).

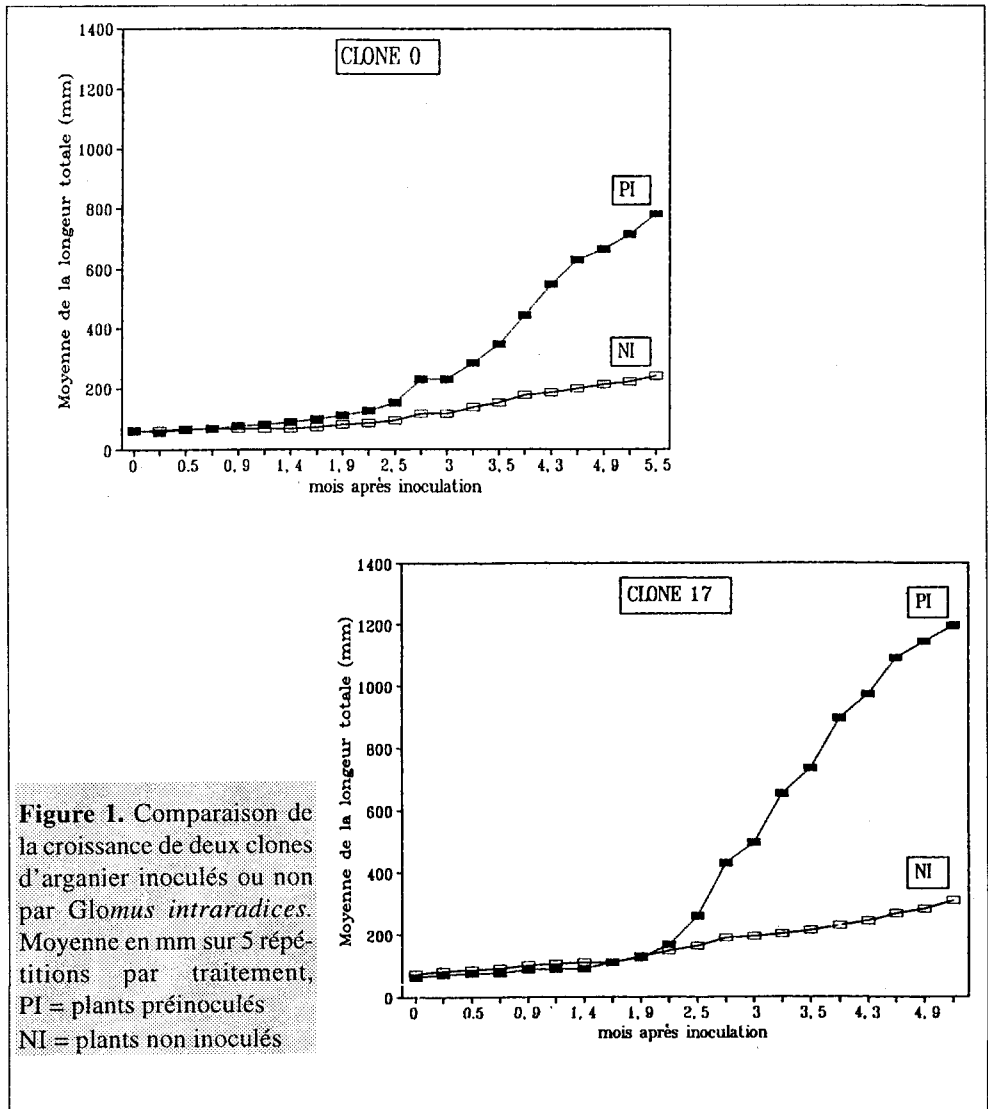
Résultats

La pré-inoculation des plants d'arganier des clones 0 et 17 confirme l'effet de la mycorhization sur l'arganier, que nous avons mis en évidence dans une première expérience sur la dépendance mycorhizienne de cette espèce (Nouaïm et Chaussod 1994 ; Nouaïm *et al.* 1994). Si l'effet est absent pendant les premières semaines, ce qui correspond à la phase d'installation du champignon à l'intérieur des racines, les plants mycorhizés se développent ensuite très rapidement (figure 1), les deux traitements devenant significativement différents 3 mois après inoculation. Au moment de leur transplantation, 5 mois et demi après inoculation, la longueur totale des axes des plants témoins du clone 0 avaient une longueur moyenne de 242 mm alors que celle des mycorhizés était de 781 mm. Ces valeurs étaient respectivement de 310 mm et 1196 mm pour les plants témoins et mycorhizés du clone 17, transplanté 6 mois après inoculation. La différence entre les deux clones est principalement due à une ramification plus importante du clone 17 : lors de la transplantation, les plants du clone 0 avaient en moyenne 5 axes secondaires, alors que ceux du clone 17 en avaient 10.

Au moment de la transplantation, l'observation d'un échantillon moyen de racines pour chacun des traitements, mycorhizé et témoin, a montré l'absence de mycorhization chez les té-

moins et des fréquences moyennes de mycorhization de 90 % et 93 % pour les clones 0 et 17 respectivement, l'intensité de mycorhization étant de 53 % et 54 %.

Le prélèvement d'un échantillon de racines, 2 mois après transplantation en sol non désinfecté, a révélé que tous les plants étaient mycorhizés. les plants témoins ont donc été rapidement infectés par les champignons mycorhiziens présents dans le sol d'Auxonne.



Les résultats (tableau 1) montrent que les longueurs totales des plantes pré-inoculées sont 2 à 3 fois supérieures à celles qui n'avaient pas été inoculées au départ. La différence entre les deux traitements reste importante : bien que le rapport entre les deux traitements diminue avec le temps, l'écart en valeur absolue se conserve ou même s'accroît.

Tableau 1. Longueur totale, en mm, des axes aériens de deux clones d'arganier, préinoculés ou non, après transplantation en sol non désinfecté (moyenne + écart-type).

| Mois après inoculation | Clone 0 | | | | Clone 17 | | |
|---------------------------|---------|----------|----------|-----------|----------|----------|-----------|
| | 8 | 14 | 25 | 28 | 7 | 13 | 27 |
| NI | 334+69 | 1737+225 | 2564+453 | 4680+1727 | 290+66 | 2502+271 | 9805+1385 |
| PI | 928+82 | 3295+614 | 5803+770 | 8642+1510 | 1243+172 | 5406+443 | 13102+683 |
| gain = (PI - NI) | 594 | 1558 | 3239 | 3962 | 953 | 2904 | 3297 |
| <i>t</i> | 5,54 | 2,38 | 3,63 | 1,73 | 5,17 | 5,59 | 2,14 |

PI = Plants préinoculés - NI = plants non inoculés.

t = test de Student Fisher, $t > 2$ différence significative à 5 %, $t > 2,6$, différence significative à 1 %

Le caractère très ramifié du clone 17 est toujours évident. A la fin de l'expérimentation, la longueur totale des plantules pré-inoculées est supérieure aux témoins mais la hauteur des plantes est pratiquement la même : elle est de 1132 mm chez les non-inoculés et 1267 mm chez les pré-inoculés. En revanche chez le clone 0, la hauteur des plantes pré-inoculées est de 1409 mm contre seulement 969 mm pour les non-inoculés (tableau II). Le développement du clone 0 a vraisemblablement été affecté par un problème nutritionnel dû au défaut de translocation du fer des racines aux feuilles. Nous avons observé en effet une chlorose au niveau des feuilles pendant toute la durée de l'expérience. Le phénomène est plus accentué chez les non-inoculés mais existe aussi chez les inoculés et il s'est généralisé à la fin de l'expérience. La perte des feuilles pendant la croissance a été nettement plus importante pour le clone 0 que pour le clone 17, entraînant une réduction en surface comme en activité de l'appareil photosynthétique chez le clone 0. Ce phénomène semble avoir un déterminisme génétique, car nous l'avons observé par ailleurs dans toutes les expériences faites avec le clone 0 (Nouaïm 1994).

Tableau 2. Paramètres de la croissance de deux clones d'arganier préinoculés ou non, après transplantation en sol non désinfecté, à la fin de l'expérience (moyenne + écart-type).

| Clone | Traitement | Hauteur (mm) | Diamètre au | | Poids frais (g) | | Poids sec (g) | |
|-------|------------------|--------------|-------------|------------------|-----------------|------------------|---------------|--|
| | | | collet (mm) | feuilles + tiges | racines | feuilles + tiges | racines | |
| 0 | NI | 969+299 | 10,0+2.6 | 61+31 | 47+23 | 25+12 | 14+8 | |
| | PI | 1409+159 | 14,1+2.6 | 156+14 | 157+23 | 67+8 | 51+7 | |
| | gain = (PI - NI) | 440 | 4,1 | 95 | 110 | 42 | 37 | |
| | <i>t</i> | 1,30 | 1,12 | 2,79 | 3,38 | 2,91 | 3,48 | |
| 17 | NI | 1132+122 | 15,1+3.3 | 163+25 | 142+53 | 76+14 | 47+17 | |
| | PI | 1267+95 | 18,1+0.9 | 212+22 | 218+18 | 91+18 | 77+7 | |
| | gain = (PI - NI) | 135 | 3 | 49 | 76 | 15 | 30 | |
| | <i>t</i> | 0,87 | 0,88 | 1,47 | 1,36 | 0,66 | 1,63 | |

PI = plants préinoculés - NI = plants non inoculés. *t* = test de Student Fisher, $t > 2$ différence significative à 5 %, $t > 2,6$ différence significative à 1 %

Les résultats du prélèvement, 27 mois après l'inoculation pour le clone 17 et 28 mois après pour le clone 0, montrent que les témoins de départ n'ont pas rattrapé les plants pré-inoculés, même s'ils ont été mycorhizés rapidement après leur transplantation dans le sol d'Auxonne. L'homogénéité des plants mycorhizés, traduite par des écarts-types plus faible que chez les non-mycorhizés, et qui avait été constatée sur terragreen, s'est maintenue dans le sol. La mycorhization semble donc avoir aussi pour effet de régulariser la croissance des plantes.

Le diamètre au collet des plantes est plus élevé chez les pré-inoculés pour les deux clones. Une différence est également notée pour les autres paramètres, poids frais et poids secs. La production de biomasse est plus importante pour le clone 17 : Le poids frais total est de 305 et 430 g chez les non-inoculés et les pré-inoculés chez ce clone, alors qu'elle est de 108 et 313 g respectivement chez le clone 0. Le poids sec total chez le clone 17 est de 123 g pour les non-inoculés et 168 g pour les pré-inoculés, les valeurs correspondantes pour le clone 0 étant respectivement 39 et 118 g (figure 2). A la fin de l'expérience, l'écart entre les plants pré-inoculés par *Glomus intraradices* et les témoins au départ semble plus important chez le clone 0 que chez le clone 17.

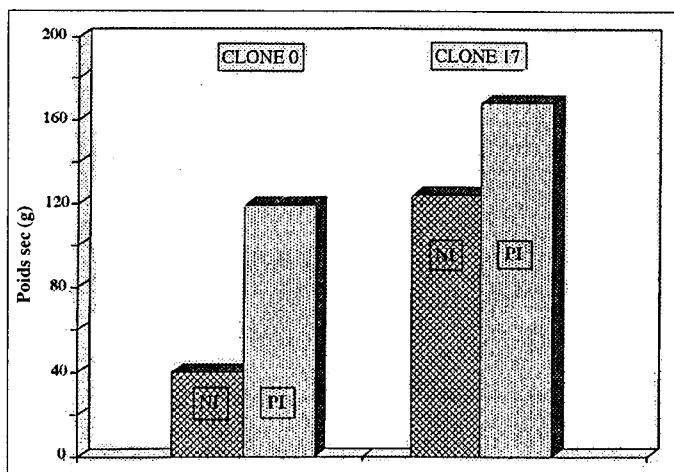


Figure 2. Comparaison des valeurs de poids sec total, à la fin de l'expérience, de deux clones d'arganier pré-inoculés (PI) ou non (NI) par *Glomus intraradices* et transplantés en sol non désinfecté

Discussion

Les paramètres de la mycorhization mesurés lors de la transplantation sont à rapprocher de la stimulation de la croissance. Les fréquences importantes d'infection (90 % pour le clone 0 et 93 % pour le clone 17) doivent par ailleurs être associées à un développement important des hyphes dans le substrat, d'où une grande efficacité dans le prélèvement des éléments minéraux. Sanders *et al.* (1977) ont en effet constaté une corrélation positive entre le taux d'infection des plants et la quantité de mycelium externe produite.

Après transplantation, la différence de longueur totale des plantes entre les traitements pré-inoculés ou non est en faveur des premiers, mais diminue avec le temps en valeur relative. Ceci peut s'expliquer par le fait que les plants inoculés poussent plus vite et épuisent le milieu plus rapidement que les non-inoculés. Dans ce milieu confiné, la quantité d'éléments nutritifs baisse et la croissance est donc ralentie. Connaissant la vitesse de croissance du système racinaire et le développement des hyphes extraracinaires, on peut penser que l'espace sol est entièrement exploré plus rapidement chez les plantes pré-inoculées que chez les non-inoculées. Ceci est démontré par les mesures des longueurs du clone 0 aux 14^e et 25^e mois et traduit une plus grande efficacité des systèmes racinaires des plantes pré-inoculées à prélever les éléments nutritifs disponibles, et peut être aussi une plus grande efficacité de la souche inoculée par rapport aux champignons endomycorhiziens du sol d'Auxonne.

Les résultats ont montré également une plus grande production en biomasse après transplantation chez le clone 17. Lors du dernier prélèvement dans l'expérience de mise en évidence de la dépendance mycorhizienne de l'arganier, les biomasses des deux clones étaient comparables (Nouaïm et Chaussod 1994). Après plus d'un an et demi de croissance sur le sol d'Auxonne, la biomasse en poids sec est 3 fois plus grande chez le clone 17 par rapport au clone 0 pour les plants qui n'ont pas été pré-inoculés, mais elle n'est que 1,4 fois plus importante chez les pré-inoculés du clone 17 par rapport au clone 0. Nous pouvons en déduire que la mycorhization des témoins du clone 17 par les champignons endomycorhiziens du sol d'Auxonne lui a procuré un avantage, en termes de croissance, plus important qu'au clone 0. Ce résultat confirme l'hypothèse d'interaction entre les souches endomycorhiziennes et les différents clones d'arganier que nous avons émise d'après les résultats d'inoculation de plusieurs clones par *Glomus intraradices* (Nouaïm 1994). Cependant, l'écart entre les deux clones est plus faible quand les plants sont pré-inoculés, ce qui confirme l'intérêt de la pré-inoculation pour la nutrition de l'arganier. Bien que les plants du clone 0 semblent profiter moins que ceux du clone 17 de la mycorhization par les souches indigènes, le fait qu'ils soient déjà inoculés leur permet de produire des biomasses importantes.

La différence entre les plants pré-inoculés par *Glomus intraradices* et les plants non inoculés reste importante pour les deux clones, même de nombreux mois après transplantation dans un sol non désinfecté. L'effet favorable de la pré-inoculation sur la croissance des arbres a été démontré par d'autres auteurs pour d'autres espèces. Le Tacon (1982) constatait que l'inoculation des plants de résineux par le champignon ectomycorhizien *Hebeloma* en pépinière procurait un gain de croissance de 26 % pour le Douglas et 64 % pour l'Epicéa, un an après transplantation dans le milieu naturel. Ce gain était de 65 % pour le Douglas et 100 % pour l'Epicéa après deux ans. Les travaux de Cornet *et al.* (1982) sur *Acacia holoserica* inoculé par *Glomus mosseae*, confirment l'intérêt de la pré-inoculation. Les plants ont été transplantés après 11 semaines et les résultats ont montré que l'inoculation par *Glomus mosseae* et *Rhizobium* permet d'obtenir des plants plus vigoureux que ceux inoculés avec *Rhizobium* seul. La pré-inoculation des plants de *Pinus radiata* par différents champignons ectomycorhiziens montre que les témoins sont rapidement infectés par les champignons présents dans le sol après transplantation ; d'une part la pré-inoculation procure toujours un avantage par rapport aux témoins, et d'autre part le gain de croissance dû au champignon le plus efficace se maintient plusieurs années après la transplantation (Theodorou & Bowen 1970). D'autres auteurs ont aussi montré que l'inoculation spontanée de plants d'*Abies alba* en pépinière ne garantit pas

un réel avantage après transplantation : Fontana *et al.* (1982) ont constaté que parmi les 8 souches qui infectaient les plants en pépinière, seules 2 avaient une certaine efficacité.

Dans nos conditions expérimentales, la souche utilisée de *Glomus intraradices* s'avère très efficace et assure un avantage de croissance même plusieurs mois après transplantation dans un sol non désinfecté. Ces conditions (éléments minéraux limitants en milieu confiné) ne sont finalement pas si éloignées des conditions naturelles (sol pauvre), mais ne reflètent pas complètement la réalité : la disponibilité de l'eau est un facteur important à prendre en considération. D'une part, des plantes plus grandes (pré-inoculées) ont des besoins en eau plus importants ; mais d'autre part la croissance plus rapide de leur système racinaire leur permet d'accéder à des ressources en eau, dans les couches profondes du sol, qui ne sont pas accessibles pour des plantes non-inoculées. Dans les sols de reboisement, où le milieu ne sera pas confiné et l'alimentation en eau limitée, la pré-inoculation des plants par des isolats efficaces pourrait être un avantage déterminant. Les hyphes extraracinaires pourront en effet explorer des volumes de sol plus importants et comme elles sont plus résistantes que les racines aux stress hydriques (Sieverding 1991) elles pourront fonctionner dans des conditions où les racines non mycorhizées sont peu actives.

La pré-inoculation, déjà envisagée pour les agrumes (Farih *et al.* 1988), pourrait donc avantageusement être utilisée chez l'arganier, et devrait se mettre en place précocement en pépinière, en faisant appel à des souches efficaces.

A cet égard, il ne faut pas oublier l'interaction entre les souches de champignons endomycorhiziens et le milieu édaphique. Une souche efficace est non seulement celle qui améliore la croissance et la nutrition de la plante, mais celle qui est aussi capable de se maintenir et de se multiplier dans le milieu naturel. La grande efficacité de *Glomus intraradices* a déjà été démontrée pour le poireau (Plenchette *et al.* 1983), pour les *Citrus* (Levy et Syvertsen 1983), pour le rosier (Augé et Stodola 1990) et nous l'avons retrouvé pour l'arganier (Nouaïm et Chausod 1994), mais il s'agit d'une souche de collection qui n'est pas forcément adaptée aux conditions pédo-climatiques du sud ouest marocain. C'est pourquoi nous travaillons actuellement à l'isolement de souches efficaces à partir de sols d'arganeraies, dans le but d'inoculer des plants d'espèces ligneuses et favoriser ainsi leur reprise et leur croissance.

Références bibliographiques

- Arif A. (1994). Effect of seeding depth on emergence of *Argania spinosa* (L.). *Al Awamia*, **87**: 149-154.
- Auge R.M. and Stodola A.J.W. (1990). An apparent increase in symplastic water contributes to greater turgor in mycorrhizal roots of droughted *Rosa* plants. *New Phytologist*, **115**: 285-295.
- Bougrine M. (1989). Justification d'un projet de développement intégré en forêt d'arganier. In : Formation forestière continue, Thème « l'Arganier », Station de recherches forestières, Rabat, 13-17 Mars 1989, pp 137-143.
- Cornet F., Diem H.G. et Dommergues Y.R. (1982). Effet de l'inoculation avec *Glomus mosseae* sur la croissance d'*Acacia holoserica* en pépinière et après transplantation sur le terrain. In : Les mycorhizes, biologie et utilisation. V. Gianinazzi-Pearson & S. Gianinazzi, Eds, INRA Publ., pp 287-292.

- Diem H.G., Gueye I., Gianinazzi-Pearson V., Fortin J.A. et Dommergues Y.R. (1981). Ecology of VA mycorrhizae in the tropics: The semi-arid zone of Senegal. *Acta OEcologica/OEcologia Plantarum*, **16** : 53-62.
- Farih A., Nadori E.B., Nhami A., Boukhriss H. et Walali L.D.M. (1988). Réponse à la mycorrhization de 4 porte-greffes d'agrumes, élevés dans trois substrats différents. *Al Awamia*, **64** : 55-62.
- Fontana A., Giovannetti G. et Scannerini S. (1982). Devenir de la mycorrhization acquise en pépinière après passage en forêt de *Abies alba* Mill. In : Les Mycorrhizes : biologie et utilisation. INRA, Ed. pp 324-328.
- Gianinazzi-Pearson V. (1982). Importance des mycorrhizes dans la nutrition et la physiologie des plantes. In : Les mycorrhizes, biologie et utilisations, V. Gianinazzi-Pearson & S. Gianinazzi, Eds, INRA Pub., pp 51-59.
- Heller R. (1974). Manuel de statistique biologique. Gauthier-Villars (Paris), 292 p.
- Hewitt E.J. (1966). Sand and water culture methods used in the study of plant nutrition. Tech. comm. 22 (2nd ed), Commonwealth Agricultural Bureau, London.
- Le Tacon F. (1982). Perspectives de la maîtrise de la mycorrhization en sylviculture. In : Les Mycorrhizes : Biologie et utilisation, INRA. Ed. pp 273-285.
- Levy Y. and Syvertsen J.P. (1983). Effect of drought stress and vesicular-arbuscular mycorrhiza on Citrus transpiration and hydraulic conductivity of roots. *New Phytologist*, **93** : 61-66.
- M'hirit O. (1989). L'Arganier, une espèce fruitière forestière à usage multiple. In : Formation Forestière Continue, Thème « l'Arganier », Station de recherches forestières, Rabat, 13-17 Mars 1989, pp 32-58.
- Menge J.A., Davis R.M., Johnson E.L., Zentmyer G.A. (1978). Mycorrhizal fungi increase growth and reduce transplant injury in avocado. *California Agriculture*, **4** : 6-7.
- Mikola P. (1987). Mycorrhizae under tropical stresses. *Angewandte Botanik*, **61** : 15-23.
- Mosse B. (1973). Advances in the study of Vesicular-Arbuscular Mycorrhiza. *Ann. Rev. Phytopathol.*, **11** : 171-196.
- Nouaïm R. (1994). Ecologie microbienne des sols d'arganeraies : Activités microbiologiques des sols et rôle des endomycorhizes dans la croissance et la nutrition de l'arganier (*Argania spinosa* (L.) Skeels). Thèse d'Etat, Université Ibnou Zohr, Agadir, 193 p + annexes.
- Nouaïm R. and Chaussod R. (1994). Mycorrhizal dependency of micropropagated argan tree (*Argania spinosa*) : I. Growth and biomass production. *Agroforestry Systems*, **27** : 53-65.
- Nouaïm R., Lineres M., Esvan J.M. and Chaussod R. (1994). Mycorrhizal dependency of two clones of micropropagated Argan tree (*Argania spinosa*) : II) Mineral nutrition. *Agroforestry Systems*, **27** : 67-77.
- Nouaïm R., Chaussod R., El Aboudi A., Schnabel C., Peltier J.P. (1991). L'Arganier. Essai de synthèse des connaissances sur cet arbre. In Physiologie des arbres et arbustes en zones arides et semi-arides. Groupe d'Etude de l'Arbre, Ed. Paris (France) pp 377-388.
- Phillips J.M., Hayman D.S. (1970). Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Brit. Mycol. Soc.*, **55** : 158-161.
- Plenchette C., Furlan V., Fortin J.A. (1981). Growth stimulation of apple trees in unsterilized soil under field conditions with VA mycorrhiza inoculation. *Canadian Journal of Botany*, **59** : 2003-2008.

- Plenchette C., Fortin J.A. and Furlan V. (1983). Growth response of several plant species to mucorhizae in a soil of moderate P fertility. I) Mycorrhizal dependency under field conditions. *Plant and Soil*, **70**: 199-209.
- Sanders F.E., Tinker P.B., Black R.L.B. and Palmerley S.M. (1977). The development of endomycorrhizal root system. I) Spread of infection and growth-promoting effects with four species. *New Phytologist*, **78**: 257-258.
- Sasson A. (1993). Biotechnologies in developing countries : Present and future. UNESCO publishing (Paris), 764 p.
- Sieverding E. (1991). Vesicular-Arbuscular Mycorrhiza management in tropical agrosystems. GTZ Publ., Eschborn (RFA), 372 p.
- Theodorou C. and Bowen G.D. (1970). Mycorrhizal responses of radiata pine in experiments with different fungi. *Australian Forest*, **34**: 183-191.
- Tinker P.B. (1984). The role of microorganisms in mediating and facilitating the uptake of plant nutrients from soil. *Plant Soil*, **76**: 77-91.
- Trouvelot A., Kough J.L., Gianinazzi-Pearson V. (1986). Mesure du taux de mycorhization VA d'un système racinaire. Recherche de méthodes d'estimation ayant une signification fonctionnelle. In : Les mycorhizes, physiologie et génétique, V. Gianinazzi-Pearson & S. Gianinazzi, Eds., INRA Publ., pp 217-221.