

Réponse à la mycorhization de plants d'arganier (*Argania spinosa*) multipliés par bouturage

Nouaim¹ R., Chaussod² R.

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

² I.N.R.A., Microbiologie des Sols, BV 1540 - 21034, DIJON Cedex (France)

Résumé

*La mycorhization de jeunes plantules de ligneux peut leur procurer un avantage lors de leur transplantation et pendant les premières années de croissance. Dans cette expérience en serre, nous avons étudié l'effet de l'inoculation par une souche de *Glomus intraradices* sur des plantules d'arganier appartenant à 6 clones différents et multipliées par bouturage. Pour chaque clone les plants sont séparés en 2 lots, l'un mycorhizé, l'autre non mycorhizé. Les plantes se sont développées en pot dans un substrat minéral saturé par une solution nutritive et ont été irriguées régulièrement par de l'eau déminéralisée. Quel que soit le clone, les résultats montrent que l'inoculation a un effet positif sur la croissance, mais l'intensité de la réponse est différente selon le clone. Elle se manifeste dès 4 semaines pour le clone 1.10, après 7 semaines pour les clones 1.1 et 3.3 et après 12 semaines pour les clones 3.4, 3.9 et 3.10. Outre l'effet sur la longueur totale des axes aériens, on a mis en évidence un effet sur la matière sèche formée. Calculé à partir des poids secs récoltés, l'indice de dépendance mycorhizienne relative (IDMR, qui exprime la dépendance d'une plante à la mycorhization), est le plus élevé pour le clone 1.1 avec 61 % alors qu'il est de 51 % pour le clone 1.10 et 30 % en moyenne pour les autres clones. Ces différences semblent liées à une interaction entre la souche de champignon endomycorhizien utilisée et le clone d'arganier. Des travaux se poursuivent aussi bien sur la multiplication végétative que sur la recherche de souches efficaces et adaptées aux conditions pédoclimatiques du Sud-Ouest marocain.*

Mots clés : *Argania spinosa*, Bouturage, *Glomus intraradices*, Maroc, Mycorhization

Abstract : Mycorrhization of argan-tree plantlets obtained by vegetative propagation (cuttings)

The Argan-tree (*Argania spinosa* L. Skeels) is a multi-purpose wild tree exhibiting a high genetic diversity. Its "domestication" seems feasible through selection, vegetative propagation, and production of high-quality (mycorrhizal) plantlets in nurseries. Here we studied the effects of inoculation with a selected arbuscular mycorrhizal fungus (AMF), *Glomus intraradices*, on the growth of argan-tree plantlets propagated by cuttings from six different mature trees. For each mother-tree, the plantlets were divided into two treatments (mycorrhizal and non mycorrhizal) and growth was recorded for about six months in controlled conditions in glasshouse.

The results showed that inoculation had a positive effect on the growth of all clones: mycorrhizal plants exhibited a higher biomass and length of aerial axes than the "control" plants. However, the mycorrhizal effect varied according to the origin (mother-plant) of the plantlets. A positive effect was noticed on total length of aerial axes after only 4 weeks for clone 1.10, 7 weeks for clones 1.1 and 3.3, and only after 12 weeks for the other clones. Mycorrhizal Dependency Index calculated from the harvested dry matter was 61 % for clone 1.1, 51 % for clone 1.10 and 30 % for the other clones. These results confirm that mycorrhizal dependency of argan-tree plantlets is affected by their genotype and phenotype.

Key words : Arbuscular mycorrhizal fungus, Argan tree, *Argania spinosa*, cuttings, *Glomus intraradices*, Morocco, Mycorrhization

ملخص : تأثير التفطر الجذري على 6 لمات مختلفة من شجيرات أركان

نوعيم ر.1، شوصور.2

1 كلية العلوم، أكادير، المغرب

2 المعهد الوطني للبحث الزراعي، ديجون، فرنسا

الهدف من هذه التجربة هو معرفة فائدة تلقيح شجيرات أركان (*Argania spinosa*) بواسطة فصيلة من الجذري (*Glomus intraradices*).

تتمة الشجيرات إلى 6 لمات أنتجت بطريقة اصطناعية (Bouturage) ثم قسمت كل واحدة إلى مجموعتين. تلقت المجموعة الأولى التفطر الجذري واستعملت الثانية كشاهد.

أظهرت النتائج أن الشجيرات الملقحة تنمو أسرع وأكثر من التي لا تحمل التفطر، لكن معدل النمو يختلف من لمة إلى أخرى. يبدو الاختلاف بعد 4 أسابيع بالنسبة للمة 1.10، بعد 7 أسابيع بالنسبة للمة 1.1 و 3.3 و بعد 12 أسبوعاً بالنسبة لللمات 3.4، 3.9 و 3.10.

الاختلاف بين المجموعتين واضح في طول الشجيرات وكذا في الوزن الجاف للنبات كما تبين النتائج على أن اللة 1.1 تعتمد على التفطر الجذري بنسبة 61% و اللة 1.10 بنسبة 61% و 30% بالنسبة لللمات الأخرى. و يبدو أن هذا الاختلاف، في نسبة اعتماد اللما على التفطر الجذري في نموها، راجع إلى مستوى التجارب بين كل لمة و فصيلة التفطر الجذري المستعملة في هذه التجربة.

الكلمات المفتاحية : المغرب، شجرة أركان (*Argania spinosa*)، قسل، تفطر جذري (*Glomus intraradices*)، تلقيح

Introduction

L'intérêt écologique et socio-économique de l'arganier (*Argania spinosa* (L.) Skeels), arbre endémique du Sud-Ouest marocain, a été relevé par de nombreux auteurs (Ayad, 1989 ; Ben Chekroun et Buttoud, 1989 ; M'Hirit et El Abid, 1989 ; Zitan, 1989 ; Nouaïm *et al.*, 1991). Il est probablement l'arbre le mieux adapté à son environnement écologique actuel (Peltier, 1986), mais il subit une régression continue (El Yousfi, 1988 ; M'Hirit, 1989), due principalement à une trop forte pression anthropique. Ceci risque de conduire à une désertification progressive de la région, d'autant que les tentatives de reboisement se sont presque toujours heurtées à des problèmes de transplantation (Bougrine, 1989), à savoir un faible taux de reprise et une croissance initiale insuffisante.

Compte-tenu de l'importance des symbioses racinaires chez les ligneux des zones arides, et ayant constaté que dans la nature l'arganier porte des endomycorhizes à vésicules et arbuscules, nous avons cherché à mesurer sa dépendance mycorhizienne en comparant la croissance de plantes mycorhizées (inoculées avec une souche de *Glomus intraradices*) à celle de plantes témoin (non inoculées).

Le rôle de la symbiose mycorhizienne dans la croissance et la nutrition des plantes a été mis en évidence chez de nombreuses espèces (Dommergues et Mangenot, 1970 ; Gianinazzi-Pearson, 1982 ; Strullu, 1991). Outre l'augmentation du prélèvement des éléments minéraux, les mycorhizes paraissent améliorer l'efficacité du prélèvement de l'eau par les racines (Safir *et al.*, 1971 ; Graham et Syvertsen, 1984). Cet effet favorable est d'autant plus important que les conditions de culture sont difficiles (Hayman et Mosse, 1971 ; Mosse, 1973). Cependant, si la majorité des plantes établissent une symbiose mycorhizienne, l'efficacité de cette symbiose varie énormément selon les espèces. Dans certains cas, la plante ne dépend que peu ou pas de la mycorhization pour sa croissance et son inoculation n'apporte pratiquement aucun effet bénéfique. En utilisant des plants d'arganier produits par multiplication *in vitro*, nous avons montré dans un travail antérieur (Nouaïm et Chaussod, 1994) que l'arganier est extrêmement dépendant de la symbiose mycorhizienne.

Connaissant l'importante variabilité génétique de l'arganier (Msanda *et al.*, 1994), nous avons cherché à savoir, dans le présent travail, si des arbres différents pouvaient présenter des degrés différents de dépendance mycorhizienne. Pour cela, nous avons étudié la réponse à la mycorhization de six arbres phénotypiquement et génotypiquement différents, identifiés et caractérisés par Msanda (1993). Ces arbres adultes ont été multipliés par bouturage et nous avons déterminé la dépendance mycorhizienne des plantules en conditions contrôlées. La technique de bouturage est plus facile à mettre en oeuvre et demande moins de moyens que la culture *in-vitro*. Elle est probablement la meilleure façon de multiplier en petit nombre des arbres identifiés et représente une étape indispensable pour le rajeunissement de tissus adultes préalablement à la multiplication *in-vitro*.

La maîtrise de ces techniques de multiplication et de mycorhization est nécessaire dans une perspective de domestication de l'arganier, par sélection d'arbres " plus ", multiplication par voie végétative, et production de plants mycorhizés garantissant un taux de reprise et une croissance initiale satisfaisants.

Matériel et méthodes

Matériel végétal

Nous avons utilisé des plantules obtenues par bouturage d'arbres provenant de deux populations d'arganiers de l'Anti-Atlas occidental étudiées par Msanda (1993). Des fragments de tiges prélevés sur 6 arbres phénotypiquement très différents de ces deux populations ont été bouturés en salle climatisée à Dijon (Chaussod et Nouaim, 1994), l'enracinement étant obtenu sur un mélange tourbe-terragreen après traitement des boutures à l'acide Indole-Butyrique (A.I.B. à 0,5%). Les profils isoenzymatiques de ces arbres ont montré qu'ils sont génétiquement différents (Msanda *et al.*, 1994). L'aptitude à l'enracinement étant différente d'un arbre à l'autre, nous avons eu à utiliser un nombre inégal de plantules (de 6 à 10 selon les clones).

Inoculation

Au départ de l'expérience, les plants ont été sortis de leur substrat, les racines lavées avec de l'eau distillée, un échantillon étant prélevé pour vérifier l'absence d'infection, selon la méthode de coloration de Phillips et Hayman (1970). Les plantules ont ensuite été transplantées dans des pots de culture de deux litres contenant 900 g de "terragreen" (substrat minéral formé d'argile calcinée) imbibé par 670 ml de la solution nutritive de Long Ashton (Hewitt, 1966). Cet apport correspond à une fertilisation phosphatée de 31 mg P.kg⁻¹, le substrat contenant déjà une petite quantité de phosphore disponible (13,5 mg P.kg⁻¹ extractible par la méthode Olsen). Pour chaque clone, les plantules ont été séparées en deux lots, l'un inoculé, l'autre non.

L'inoculum était constitué d'un isolat de *Glomus intraradices* (Schenck et Smith). Cette espèce a déjà été utilisée dans différentes expériences, particulièrement pour des études sur le stress hydrique (Levy et Syvertsen, 1983 ; Augé et Stodola, 1990) ou le stress thermique (Haugen et Smith, 1992). L'isolat utilisé ici a été sélectionné par Plenchette *et al.* (1981) pour son efficacité ; il est maintenu en serre sur poireau. Pour l'inoculation, des racines de poireau ont été prélevées, lavées à l'eau puis découpées en fragments de 1 à 2 mm et mis en suspension dans de l'eau stérile. Dans les traitements "mycorhizés", chaque plantule a été inoculée avec 0,5 g (poids frais équivalent à 36 mg poids sec) de la suspension de fragments de racines de poireau, apportée directement au contact des racines au moment de la transplantation.

Conditions de croissance, mesures et prélèvement

Les plants ont été placés en serre, les pots étant maintenus à humidité constante (proche de la capacité de rétention) par arrosages quotidiens avec de l'eau permutée en tenant compte du poids de consigne de chaque pot et de la matière fraîche formée estimée.

La croissance a été suivie par des mesures hebdomadaires de la taille de la plante (longueur totale des axes aériens), la longueur et le nombre des axes secondaires étant enregistrés au fur et à mesure de l'apparition de ces derniers.

L'expérimentation a duré 20 ou 27 semaines après l'inoculation, en fonction de la réponse des clones à la mycorhization. Les poids frais et secs des feuilles, tiges et racines ont été mesurés pour chaque plante. Les surfaces foliaires ont été déterminées sur 20 feuilles par plante, à l'aide d'un analyseur d'image et du logiciel Samba-7 (Société T.I.T.N., Grenoble). Les racines ont été rincées à l'eau distillée et passées aux ultrasons pour éliminer les débris de substrat qui y adhéraient. Après la mesure du poids frais, un échantillon a été prélevé, éclairci avec une solution de KOH à 10 % et coloré au bleu trypan suivant la méthode de Phillips et Hayman (1970) pour vérifier la mycorhization des plants inoculés et son absence chez les plants témoins.

La dépendance mycorhizienne a été définie par Gerdemann (1975) comme le degré auquel une plante dépend de l'état mycorhizien pour produire son maximum de croissance ou de poids sec dans des conditions de fertilité données. Elle a été estimée ici par l'indice de dépendance mycorhizienne relatif (I.D.M.R.) proposé par Plenchette *et al.* (1983) :

$$\text{I.D.M.R.} = 100 (\text{p.s.M}^+ - \text{p.s.M}^-) / (\text{p.s.M}^+)$$

où p.s.M⁺ = poids sec des plants mycorhizés

et p.s.M⁻ = poids sec des plants non mycorhizés

L'indice varie entre 0 et 100 % : il est de 100 % si la plante ne peut pas se développer sans ses mycorhizes et de 0 % quand la mycorhization n'influence pas la croissance.

Résultats

Effet de l'inoculation sur la croissance

Le premier critère utilisé pour estimer l'effet de la mycorhization est la mesure de la longueur totale de la partie aérienne. Ce paramètre a révélé des réponses différentes selon les clones. L'effet inoculation est absent pendant les premières semaines chez tous les clones, mais un effet positif très net se manifeste au bout de 4 semaines pour le clone 1.10 et 7 semaines pour les clones 1.1 et 3.3 (Figure 1). Chez les clones 3.4, 3.9 et 3.10, l'effet de l'inoculation apparaît après 12 semaines seulement et reste inférieur à ce qui est observé pour les précédents (Figure 2). C'est la raison pour laquelle ces clones ont été prélevés 27 semaines après l'inoculation alors que les premiers l'ont été après 20 semaines de culture.

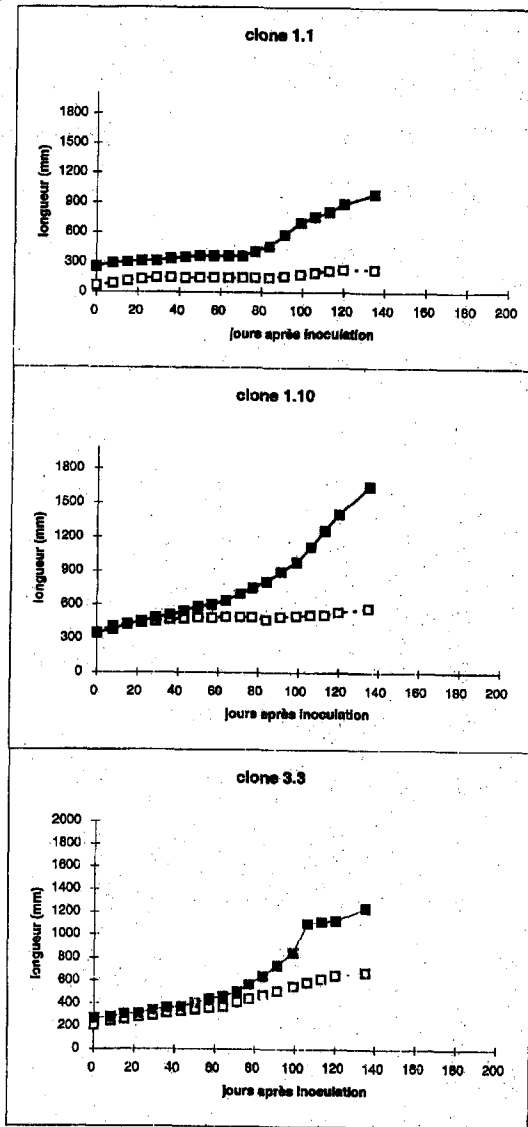


Figure 1. Croissance de plantules d'arganier de 3 clones différents, inoculés (trait plein) ou non (pointillé) par *Glomus intraradices*.

En ordonnées, longueur totale des axes aériens en mm.

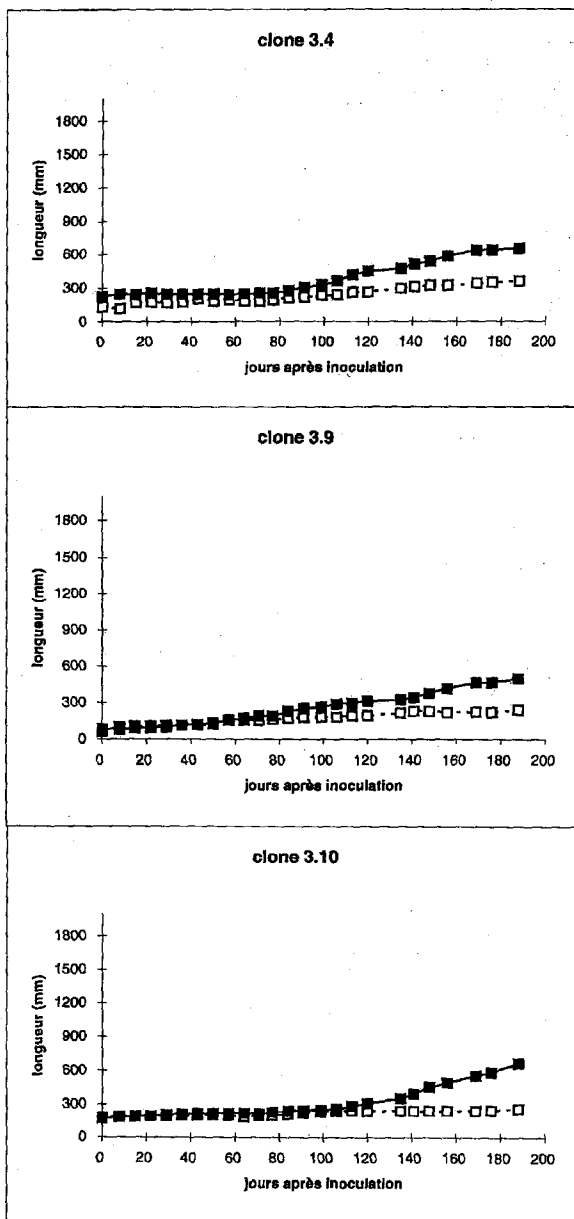


Figure 2. Croissance de plantules d'arganier de 3 clones différents, inoculés (trait plein) ou non (pointillé) par *Glomus intraradices*.

En ordonnées, longueur totale des axes aériens en mm.

Chez les plants témoins, la croissance est très faible et la longueur totale à la fin de l'expérience est presque la même qu'au départ, excepté chez le clone 3.3 pour lequel on a noté une croissance quasi linéaire tout au long de l'expérience.

Chez les plants mycorhizés, la longueur moyenne totale des axes à la fin de l'expérience est très différente selon les clones. Ainsi, le clone 1.10 atteint 1600 mm alors que le clone 3.9 ne dépasse pas 600 mm en moyenne.

Il est important de noter que ces longueurs mesurées ne correspondent pas à la hauteur de la plante ; elles dépendent de l'importance de la ramification et du développement plus ou moins orthotrope de la plante. Par exemple, le clone 3.3 s'est développé de façon entièrement plagiotrope pendant toute la durée de l'expérience. Ceci s'explique par le fait que ce sont les rameaux axillaires de la bouture qui se développent et très rarement l'extrémité de la bouture. Si le clone se ramifie beaucoup, comme c'est le cas du clone 1.10, des axes orthotropes apparaissent. Si au contraire le clone se ramifie peu, tel le clone 3.3, les premiers axes apparus continuent à croître de façon horizontale. Ces rameaux paraissent avoir une dominance apicale très forte et l'apparition de rameaux secondaires est très tardive.

L'effet de la mycorhization se remarque également sur les surfaces foliaires, surtout chez les trois clones les plus dépendants. Ainsi pour le clone 1.10, la surface moyenne d'une feuille est de $0,72 \text{ cm}^2 (+ 0,2)$ chez les plantes mycorhizées, contre seulement $0,49 \text{ cm}^2 (+ 0,1)$ chez les plantes non inoculées. Chez le clone 3.3, la mycorhization fait passer la surface moyenne des feuilles de $1,58 \text{ cm}^2 (+ 0,3)$ chez les témoins à $2,00 \text{ cm}^2 (+ 0,2)$ chez les plants inoculés. Les différences sont plus modestes chez le clone 1.1 où les surfaces moyennes sont respectivement de $1,91 (+ 0,4)$ et $2,27 (+ 0,6) \text{ cm}^2$ chez les témoins et les mycorhizés. Le test " t " de Student n'indique pas une différence très significative entre les 2 traitements, t est de 1,36 pour le clone 1.10, il est de 1,1 pour le clone 3.3 et seulement 0,55 pour le clone 1.1. Enfin, chez les trois autres clones, nous n'avons pas mesuré les surfaces foliaires car, visuellement, il n'y avait pas d'augmentation sensible chez les plants mycorhizés.

Effet de l'inoculation sur la biomasse végétale produite

L'effet de la mycorhization sur les poids frais récoltés dépend du clone. Chez le clone 1.1, l'effet est très net pour les feuilles, tiges et racines, alors qu'il est moins important pour le poids frais racinaire chez les autres clones (Figure 3).

Le même effet est constaté pour les poids secs (Tableau 1). Grâce à la mycorhization, la matière sèche récoltée chez les clones 1.1, 1.10 et 3.3 est doublée en moyenne, alors qu'elle n'est augmentée que de 50 % chez les clones 3.4, 3.9 et 3.10. L'I.D.M.R. calculé sur la matière sèche totale récoltée est le plus élevé pour le clone 1.1, avec 61 % alors qu'il est de 51 % pour le clone 1.10 et 30 % en moyenne pour les autres clones.

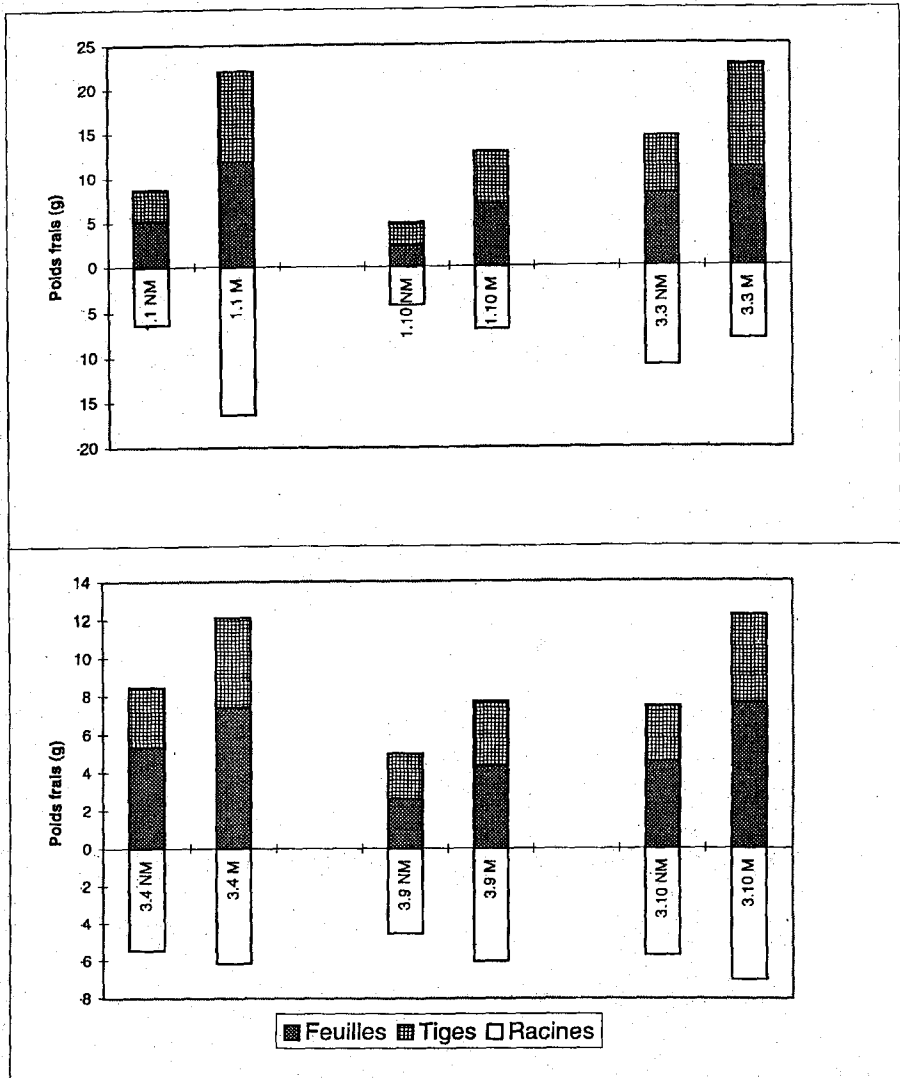


Figure 3. Poids frais des tiges, feuilles et racines de plantules d'argemone de 6 clones différents, multipliés par bouturage et inoculées (M) ou non (NM) par *Glomus intraradices*

Tableau 1. Poids sec des feuilles, tiges et racines de plantules d'arganier de 6 clones différents, multipliés par bouturage et inoculés (M) ou non NM(par *Glomus intraradices*

Organe	Clone 1.1		Clone 1.10		Clone 3.3	
	NM	M	NM	M	NM	M
feuilles	1,69 ± 0,05	3,42 ± 0,00	0,71 ± 0,32	2,19 ± 0,39	2,44 ± 0,67	3,55 ± 0,65
Tiges	1,39 ± 0,01	3,90 ± 0,47	1,39 ± 0,57	2,26 ± 0,41	2,48 ± 0,88	4,55 ± 1,28
Feuilles + Tiges	3,06 ± 0,05	7,31 ± 0,46	2,10 ± 0,68	4,46 ± 0,78	4,92 ± 1,55	8,10 ± 1,93
t		9,2		2,3		1,3
Racines	1,00 ± 0,72	2,97 ± 0,28	0,78 ± 0,38	1,37 ± 0,27	2,15 ± 0,34	2,18 ± 0,58
t		2,6		1,3		0,1

Organe	Clone 3.4		Clone 3.9		Clone 3.10	
	NM	M	NM	M	NM	M
Feuilles	1,34 ± 0,30	1,86 ± 0,58	0,77 ± 0,14	1,24 ± 0,12	1,23 ± 0,49	2,00 ± 0,21
Tiges	1,15 ± 0,10	1,80 ± 0,71	1,03 ± 0,34	1,42 ± 0,25	1,11 ± 0,27	1,45 ± 0,34
Feuilles + Tiges	2,49 ± 0,36	3,66 ± 1,29	1,79 ± 0,47	2,66 ± 0,37	2,34 ± 0,75	3,45 ± 0,46
t		0,9		1,6		1,7
Racines	0,96 ± 0,38	1,10 ± 0,41	0,80 ± 0,12	1,16 ± 0,15	1,03 ± 0,37	1,14 ± 0,28
t		0,3		9,7		0,3

Discussion

Cette expérience montre un effet positif de la mycorhization sur les plants d'arganier produits par bouturage, ce qui traduit une meilleure efficacité d'un système racinaire mycorhizé. En effet, les systèmes racinaires mycorhizés développent des surfaces d'hyphes extra-racinaires importantes (Sanders *et al.*, 1977) qui augmentent considérablement la surface d'absorption (Hayman, 1983) assurant ainsi un plus grand prélèvement en eau et éléments minéraux (Rhodes et Gerdemann, 1975 ; Auge et Stodola, 1990). L'absence d'effet constaté durant les premières semaines est due à la phase d'installation du champignon à l'intérieur des racines.

Le gain en croissance est variable selon les clones. Le test " t " sur les poids secs récoltés met en évidence une différence significative entre les plants mycorhizés et les témoins pour les clones 1.1 et 1.10 ; en revanche, cette différence n'apparaît pas significative pour les clones dont l'I.D.M.R. calculé est faible. Cependant, ceci ne doit pas être interprété comme une absence de dépendance à la mycorhization. Le poids sec des plants témoins chez ces clones n'est pas plus élevé que celui des plants témoins chez les clones les plus dépendants : en l'absence d'inoculation, la croissance est très faible quel que soit le clone considéré. La différence semble être plutôt liée au caractère réfractaire de ces clones à la mycorhization ou bien à une interaction peu favorable entre la souche de champignon mycorhizien utilisée et le clone. En effet, bien que l'on n'ait pas déterminé l'intensité de la mycorhization pour chaque plante, l'observation des racines colorées montre que chez les clones dont l'I.D.M.R. est le plus élevé,

les racines sont entièrement infectées et le nombre d'arbuscules et de vésicules est très élevé. En revanche, chez les clones 3.4, 3.9 et 3.10, le taux d'infection est très faible, les points de pénétration sont rares, le mycélium est peu développé à l'intérieur des racines et le nombre d'arbuscules est très faible dans les cellules. Le taux d'arbuscules, lieu des échanges entre les cellules de la racine et le champignon, est considéré par les auteurs comme le signe d'efficacité de la mycorhization (Trouvelot *et al.*, 1986), leur faible nombre révèle une symbiose peu fonctionnelle. De plus, l'efficacité des souches semble dépendre surtout de la colonisation des racines de la plante hôte et du milieu (Abbott et Robson, 1982). Ainsi, on constate dans notre expérience que quand l'infection est faible, l'effet positif se manifeste peu et plus tardivement. De fait, il apparaît ici 15 semaines après l'inoculation chez le clone 3.10 et après seulement 4 semaines chez le clone 1.10. Sanders *et al.* (1977) trouvaient aussi une corrélation positive entre le pourcentage d'infection des racines et le poids d'hyphes externes formées. Chez le clone 1.10, le taux élevé d'infection se traduit probablement par une croissance importante du champignon dans le substrat et par conséquent un meilleur prélèvement des éléments minéraux et de l'eau.

Il paraît donc exister une interaction entre le clone et la souche de *Glomus intraradices* utilisée, l'infection par cette souche étant plus efficace chez les clones 1.1, 1.10 et 3.3. L'interaction entre la souche de champignon et la plante a été observée par d'autres auteurs qui concluaient à l'existence d'une préférence des plantes pour des espèces ou des souches endomycorhiziennes différentes (Dodd *et al.*, 1990 ; Bethlenfalvay *et al.*, 1984 ; Sylvia *et al.*, 1993). Les mécanismes moléculaires des interactions entre les champignons endomycorhiziens et les racines des plantes sont encore inconnus, mais l'expérience montre que ces mécanismes avantagent certaines associations plus que d'autres et que cet effet peut exister pour des clones différents d'une même espèce végétale.

Il ne faut pas non plus exclure que le développement particulier des boutures pourrait influencer la réponse des plants. Nous avons en effet déjà noté les inconvénients de la multiplication de l'arganier par bouturage (Chaussod et Nouaïm, 1994). Hormis le développement plagiotrope déjà évoqué, le système racinaire des boutures est de type fasciculé ; une racine pivot finit par dominer, mais cela n'a lieu qu'après plusieurs mois de croissance (Kaaya, 1994) et il est admis que des plants à système racinaire pivotant seraient plus dépendants de la mycorhization que des plantes à système racinaire fasciculé. Le système racinaire des plants d'arganier multipliés par culture in-vitro est de type pivotant et son développement est à cet égard plus comparable aux plants issus de semis de graines (Nouaïm, 1994). Pour des plantules d'arganier multipliés par micro-propagation in-vitro, l'I.D.M.R. avait atteint 80 %, valeur la plus élevée constatée jusqu'ici pour un ligneux (Nouaïm et Chaussod, 1994 ; Nouaïm *et al.*, 1994). Le taux d'infection observé alors était très élevé, la fréquence et l'intensité de mycorhization mesurées selon la méthode de Trouvelot *et al.* (1986) atteignant respectivement 95 % et 60 %.

Conclusion

Bien que l'intensité de la réponse à la mycorhization varie d'un clone à l'autre, cette expérience montre l'effet positif d'une inoculation sur la croissance des plantules d'arganier produites par

bouturage : la croissance des plants mycorhizés est toujours supérieure à celle des témoins non inoculés. L'inoculation de plantules produites en pépinière pourrait améliorer leur croissance et leur procurer un avantage lors de la transplantation. Cependant, il est évident que l'efficacité d'une souche dépend non seulement de son effet positif sur la croissance de la plante hôte, mais aussi de sa capacité à se maintenir et à se multiplier dans le milieu et donc à être compétitive vis à vis des micro-organismes indigènes. La pression exercée par l'environnement édaphique est d'autant plus facile à contourner que la souche est isolée localement. C'est pourquoi nous cherchons actuellement à sélectionner des isolats efficaces à partir de différents sols d'arganeraies. En effet, la mycorhization spontanée des plantules en pépinière ou dans la nature ne leur procure pas forcément un avantage car de nombreuses espèces de champignons endomycorhizogènes sont peu efficaces. Seule une mycorhization contrôlée (avec un isolat sélectionné), réalisée de façon aussi précoce que possible, au stade de la production de plants, permet d'obtenir les meilleurs résultats. Nous avons en effet montré, dans une expérience utilisant 2 clones d'arganier multipliés par culture in-vitro, que la différence entre des plants pré-inoculés par *Glomus intraradices* et des plants non inoculés reste importante même plusieurs mois après leur transplantation dans un sol non désinfecté ; l'avantage de l'inoculation s'est maintenu même si les témoins de départ ont très vite été infectés par les champignons endomycorhiziens du sol (Nouaïm et Chaussod, 1997).

Références bibliographiques

- Abbott L.K., Robson A.D., 1982. The role of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in agriculture and the selection of fungi for inoculation. *Aust. J. Agric. Res.*, 33, pp 389-408.
- Auger R.M., Stodola A.J.W., 1990. An apparent increase in symplastic water contributes to greater turgor in mycorrhizal roots of droughted *Rosa* plants. *New Phytol.*, 115, pp 285-295.
- Ayad A., 1989. Présentation générale de l'arganeraie. In : Formation Forestière Continue, Thème "l'Arganier", Station de Recherches Forestières, Rabat, 13-17 Mars 1989, pp 9-18.
- Benckroun F., Buttoud G., 1989. L'arganeraie dans l'économie rurale du Sud-Ouest marocain. *Forêt Méditerranéenne*, 2, pp 127-136.
- Bethlenfalvai G.I., Dakessian S., Pacovsky R.S., 1984. Mycorrhizae in a southern California desert : ecological implications. *Can. J. Bot.*, 62, pp 519-525.
- 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.
- Chaussod R. et Nouaïm R., 1994. Avantages et inconvénients des différents modes de multiplication de l'Arganier (*Argania spinosa* (L.) Skeels). In : Deuxièmes Journées de l'Arbre, Marrakech (Maroc), 21-22/04/94, 4 p.
- Dodd J.C., Arias I., Koomen I., Hayman D.S., 1990. The management of populations of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in acid infertile soil of a savanna ecosystem. The effect of pre-crops on the spore populations of native and introduced VAM fungi. *Plant Soil*, 122, pp 241-247.
- Dommergues Y., Mangenot F., 1970. *Ecologie microbienne du sol*. Masson (Paris), 796 p.

- El Yousfi M., 1988. La dégradation forestière dans le Sud Marocain : Exemple de l'arganeraie d'Admine entre 1969 et 1986. Thèse 3ème Cycle option Eaux et Forêts, I.A.V. Hassan II (Rabat), 117 p + annexes.
- Gerdeman J.W., 1975. Vesicular-arbuscular mycorrhizae. In : The development and function of roots, J.G.Torrey & D.T. Clarhson, Eds., Academic Press (London), pp 575-591.
- Gianinazzi-Pearson V., 1982. Importance des mycorhizes dans la nutrition et la physiologie des plantes. In : Les mycorhizes, biologie et utilisations, V. Gianinazzi-Pearson & S. Gianinazzi, Eds, INRA Pub., pp 51-59.
- Graham J.H., Syvertsen J.P. 1984. Influence of vesicular-arbuscular mycorrhizae on the hydraulic conductivity of roots of two citrus rootstocks. *New Phytol.*, 97, pp 277-284.
- Haugen L.M., Smith S.E., 1992. The effect of high temperature and fallow period on infection of mung bean and cashew roots by the vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices*. *Plant Soil*, 145, pp 71-80.
- Hayman D.S., Mosse B. 1971. Plant growth responses to vesicular-arbuscular mycorrhiza. I) Growth of *Endogone* inoculated plants in phosphate deficient soils. *New Phytol.*, 70, pp 19-27.
- Hayman D.S., 1983. The physiology of vesicular-arbuscular endomycorrhizal symbiosis. *Canadian Journal of Botany*, 61, pp 944-963.
- 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.
- Kaaya M., 1994. Contribution à la production de plantules d'arganier sélectionnés : étude du bouturage et de la croissance racinaire. C.E.A. Environnement, Université Ibnou Zohr, Agadir, 31 p + annexes.
- Levy Y. Syvertsen J.P. 1983. Effect of drought stress and vesicular-arbuscular mycorrhiza on Citrus transpiration and hydraulic conductivity of roots. *New Phytol.*, 93, pp 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.
- M'Hirit O., EL ABID A., 1989. Note de synthèse. In : Formation Forestière Continue, Thème "l'Arganier", Station de Recherches Forestières, Rabat, 13-17 Mars 1989, pp 6-8.
- Mosse B., 1973. Advances in the study of vesicular-arbuscular mycorrhiza. *Ann. Rev. Phytopathol.*, 11, pp 171-196.
- Msanda F., 1993. Ecologie et cartographie des groupements végétaux d'Anzi (Anti-Atlas occidental, Maroc) et contribution à l'étude de la diversité génétique de l'arganier. Thèse Université Grenoble, 116 p + annexes
- Msanda F., Guasquez J., Chaussod R. et Peltier, J.P. 1994. Polymorphisme et régime de reproduction de trois populations d'Arganier (*Argania spinosa* (L.) Skeels) endémiques du Maroc. Premiers résultats. In : Deuxièmes journées de l'Arbre, Marrakech (Maroc), 21-22/04/94, pp 154-158.
- Nouaim 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.
- Nouaim (R) and Chaussod (R.) 1994. Mycorrhizal dependency of two clones of micropropagated Argan tree (*Argania spinosa*) : I) Growth and biomass production. *Agroforestry Systems*, 27, pp 53-65.
- Nouaim (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, pp 67-77.

- Nouaim 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, 193p. + annexes.
- Nouaim R. et Chaussod R. 1997. Effet de la mycorhization contrôlée sur la croissance de l'arganier (*Argania spinosa*) après sa transplantation en sol non désinfecté. *Al Awamia*, 96, pp 9-20.
- Peltier J.P., 1986. L'étage de végétation inframéditerranéen dans le Souss (Maroc). *Documents Phytosociologiques*, 10, pp 437-454.
- 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, pp 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, pp 2003-2008.
- Plenchette C., Fortin J.A., Furlan V., 1983. Growth response of several plant species to mycorrhizae in a soil of moderate P fertility. I) Mycorrhizal dependency under field conditions. *Plant Soil*, 70, pp 199-209.
- Rhodes L.H., Gerdemann J.W., 1975. Phosphate uptake zones of mycorrhizal and non-mycorrhizal onions. *New Phytologist*, 75, pp 555-561.
- Safir G.R., Boyer J.S., Gerdemann J.W., 1971. Mycorrhizal enhancement of water transport in soybean. *Science*, 172, pp 581-583.
- Sanders F.E., Tinker P.B., Black R.L.B., Palmerley S.M., 1977. The development of endomycorrhizal root system. I) Spread of infection and growth-promoting effects with four species. *New Phytologist*, 78, pp 257-258.
- Strullu D.G. 1991. Les mycorhizes des arbres et plantes cultivées. Lavoisier (Paris), 250 p.
- Sylvia D.M., Wilson D.O., Graham J.H., Maddox J.J., Millner P., Morton J.B., Skipper H.D., Wright S.F., Jarstfer A.G., 1993. Evaluation of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in diverse plants and soils. *Soil Biol. Biochem.*, 25, pp 705-713.
- 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.
- Zitan A., 1989. Eléments de réflexion sur l'agroforesterie au Maroc. In : La forêt marocaine, droit, économie, écologie. Actes des journées d'étude SOMADE, 15-16 Avril 1988, Casablanca. Afrique Orient, Editeur, pp 49-75.