

Évaluation de l'impact de la mycorhization arbusculaire sur la nutrition minérale des plantules de palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L. var. Deglet Nour)

B. Zougari-Elwedi^(1*), M. Sanaa⁽²⁾, S. Labidi⁽³⁾ et A. Lounès-Haj Saharaoui⁽³⁾

- 1) Centre régional de recherche en agriculture oasienne (CRRAO). Route de Tozeur Km 1, Degache 2260 - Tunisie.
- 2) Institut National Agronomique de Tunisie. Laboratoire des Sciences du Sol et Environnement, 43, Av. Charles Nicole, 1082. Tunis Mahrajène - Tunisie
- 3) Université Lille Nord de France, F-59000 Lille. Université du littoral côte d'opale, Unité de chimie Environnementale et Interactions sur le vivant, F-62228 Calais France

* : Auteur correspondant : zougarib@yahoo.fr

RÉSUMÉ

Le palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) est une espèce indispensable dans les oasis du Djérid (sud ouest Tunisien). Une expérience a été menée pour étudier l'effet de l'inoculation mycorhizienne sur les plantules de palmier dattier. L'essai a été conduit en serre avec deux types d'inoculation (spores de *Glomus* et un sol mycorhizé) et le témoin. Les résultats indiquent, après deux ans de culture, que l'inoculation avec les champignons mycorhiziens augmente de manière significative la croissance des plantules de palmier dattier. Nous avons aussi noté que les biomasses racinaires et aériennes ont été nettement améliorées avec des valeurs atteignant parfois +45% par rapport aux plantes témoins. L'analyse minérale a montré des teneurs plus élevées en phosphore, azote, potassium, cuivre et zinc chez les plantules inoculées.

Mots clés

Palmier dattier, mycorhize, inoculation, nutrition, éléments minéraux.

SUMMARY**EVALUATION OF THE IMPACT OF ARBUSCULAR MYCORRHIZA ON MINERAL NUTRITION OF DATE PALM SEEDLINGS (PHOENIX DACTYLIFERA L. VAR. DEGLET NOUR)**

Date palm (*Phoenix dactylifera* L.) is a very essential species in the oases of the Djerid (south west of Tunisia). An experiment was conducted to study the effect of mycorrhizal inoculation on plants of date palm. The test conducted in greenhouse with two types of inoculation (spores of *Glomus* and mycorrhizal soil) and the Control. The results indicate two years after planting; inoculation with mycorrhizal fungi significantly increases the growth of plants of date palm. We also noted biomasses were significantly improved with values sometimes 45% compared with control plants. The mineral analysis showed higher contents of phosphorus, nitrogen, potassium, copper and zinc in inoculated plants.

Key-words

Date palm, mycorrhiza, inoculation, nutrition, inorganic elements.

RESUMEN**EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA MICORRIZACIÓN ARBUSCULAR SOBRE LA NUTRICIÓN MINERAL DE PLÁNTULAS DE PALMERAS DATILERAS**

La palmera datilera (*Phoenix dactylifera* L.) es una especie muy indispensable en los oasis del Djérid (sur oeste tunecino). Se realizó una experiencia para estudiar el efecto de la inoculación micorrízica sobre las plántulas de palmera datilera. Se condujo el ensayo en invernadero con dos tipos de inoculación (esporas de *Glomus* y un suelo micorrizado) y el testigo. Los resultados indican después de dos años de cultivo, que la inoculación con hongos micorrízicos aumenta de manera significativa el crecimiento de las plántulas de palmera datilera. Notamos también que las biomásas aéreas y de raíces fueron claramente mejoradas con valores que logran a veces 45% comparado a las plantas testigos. El análisis mineral mostró contenidos más elevados en fósforo, nitrógeno, potasio, cobre y zinc en las plántulas inoculadas.

Palabras clave

Palmera datilera, micorriza, inoculación, nutrición, elementos minerales.

Le palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) est adapté aux sols de formation désertique et subdésertique très divers, qui constituent les terres cultivables des régions arides. Durant la dernière décennie, des contraintes biotiques et abiotiques ainsi que des faibles fertilités des sols des palmeraies ont entraîné une destruction intense des palmeraies et une détérioration des écosystèmes oasiens, limitant sérieusement la production agricole dans ces milieux sévères et à équilibre fragile. Cependant, pour lutter contre les carences en éléments minéraux, il bénéficie de la symbiose avec les champignons mycorhiziens arbusculaires (CMA). Les CMA vivent en symbiose avec les racines des plantes pour un meilleur prélèvement des éléments minéraux, en particulier le phosphore, et ainsi leur permettent de se développer dans des zones pauvres en éléments minéraux (Boureima *et al.*, 2008).

L'association des racines des plantes avec des champignons mycorhiziens arbusculaires augmente de manière significative l'absorption en phosphore et en micronutriments (Labidi *et al.*, 2011). D'autres travaux menés au Maroc et en Arabie Saoudite ont montré que les racines des palmiers dattiers se sont montrées réceptives aux champignons mycorhiziens arbusculaires (Khaliel et Abou-Heilah, 1985 ; Oihabi, 1991 ; Al-Whaibi et Khaliel, 1994).

L'objectif du présent travail est de caractériser en serre l'effet de l'inoculation avec des CMA sur la croissance et la nutrition minérale des plantules de palmier dattier.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Dans cette étude, on se base sur l'analyse de quelques paramètres de la fertilité du sol à savoir les éléments (azote total, phosphore assimilable, potassium échangeable, calcium, magnésium, cuivre et zinc) principaux soucis de la production des dattes. D'autres analyses (granulométrie, pH, conductivité électrique, capacité d'échange cationique et calcaire (total et actif)) sont faites pour caractériser le sol et son état nutritionnel.

Pour les analyses du sol et du végétal, on se base dans ce travail sur les méthodes de Pauwels *et al.* (1992).

L'expérimentation a été menée en serre dans le centre régional de recherche en agriculture oasienne à Degache. Le sol de la région du Djérid (*tableaux 1 et 2*) a été utilisé comme substrat de culture après stérilisation en autoclave à 120 °C pendant 20 minutes, deux jours de suite.

Le sol étudié révèle une texture légère avec une capacité de rétention en eau très faible, donc un drainage interne très rapide. C'est ainsi que ces sols ont une très faible fertilité chimique qui s'exprime généralement par les faibles teneurs en azote total et la capacité d'échange cationique effective.

Dans son ensemble la rhizosphère du palmier dattier est considérée pauvre pour un sol cultivé (*tableau 2*).

Les spores de même morphotype du genre *Glomus* et qui sont majoritaires ont été isolées puis multipliées sur le système racinaire d'une culture piège (le poireau (*Allium porrum*) en pot. Après six mois de culture, le substrat du poireau contenant les propagules (spores, racines mycorhizées, mycélium extraracinaire) du champignon mycorhizien arbusculaire a été utilisé comme inoculum pour inoculer les plantules de palmier dattier issus de la germination des noyaux.

Tableau 1 - Caractérisation du substrat utilisé par certains paramètres de fertilité.

Table 1 - Characterization of the substrate used by some fertility parameters.

MO	Texture	pH	CE Extrait 1/5	CEC	CaCO ₃ %	
%	(U.S.A.)		(mmhos/cm)	(meq/100 g de sol)	Total	Actif
1,23 ±0,14	LS	8,4 ±0,03	2,4 ±0,07	4,3	12,1 ±0,42	7,6 ±0,73

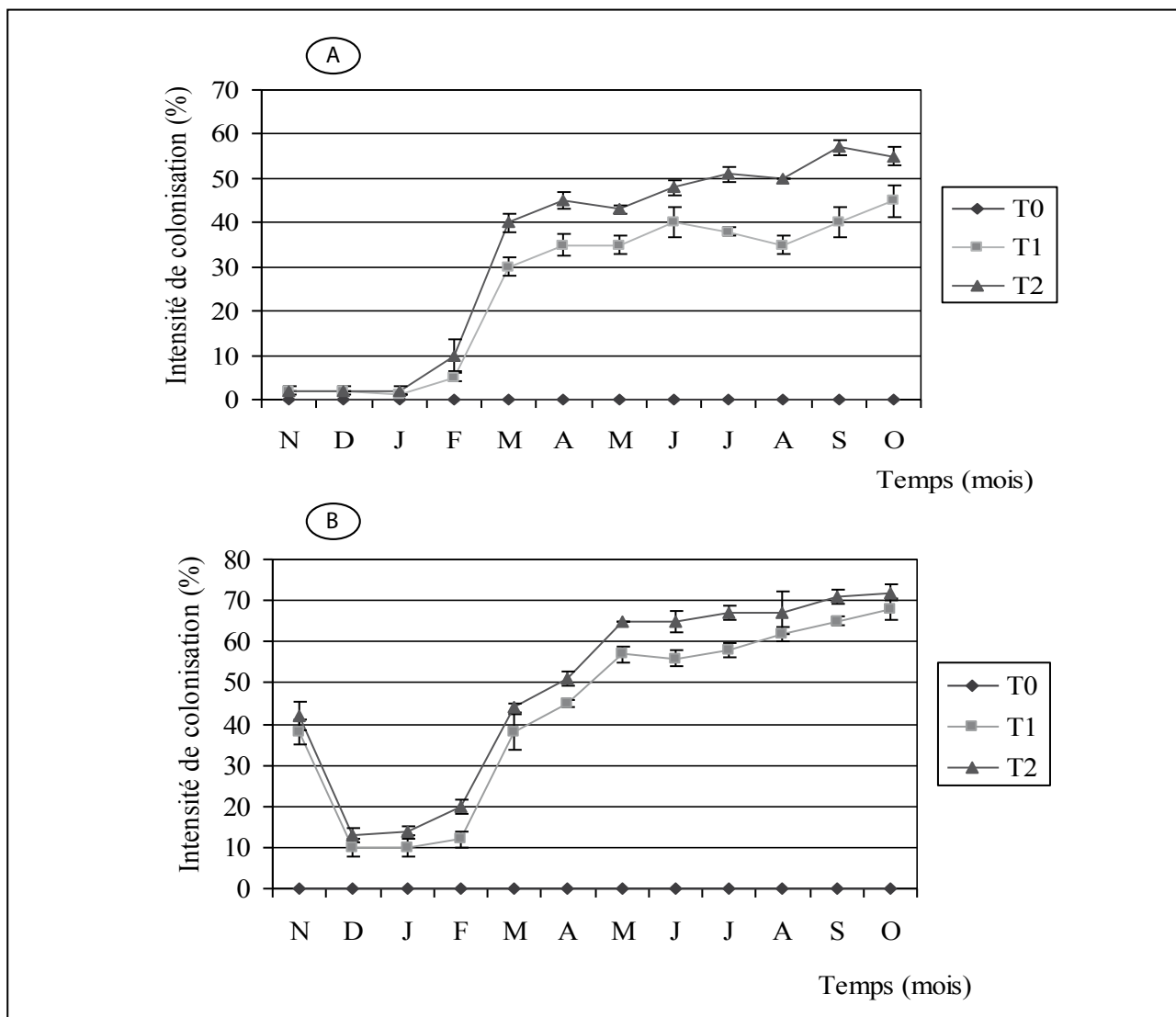
Tableau 2 - Caractérisation chimique du substrat utilisé par d'autres paramètres de fertilité.

Table 2 - Chemical characterization of the substrate used by other fertility parameters.

N (mg/kg)	P (mg/kg)	K éch. (meq/100g de sol)	Ca (meq/100g de sol)	Mg éch. (meq/100g de sol)	Cu (ppm)	Zn (ppm)
0,116 ±0,021	18,27 ±1,95	0,92 ±0,11	4,9 ±0,63	5,4 ±0,07	0,52 ±0,06	3,7 ±1,04

Ech. : Échangeable

Figure 1 - Intensité de la colonisation des racines (l %) durant la première année (a) et la deuxième année (b) après l'inoculation.
Figure 1 - Intensity of colonization (l %) during the first year (a) and the second year (b) after inoculation.



Le dispositif expérimental comporte trois traitements :

- T0 : Témoin (plantules non mycorhizées + sol stérile) ;
- T1 : Plantules non mycorhizées + sol stérile + (10 % d'inoculum mycorhizien (mélange de racines mycorhizées de poireau (*Allium porrum*) + sol + spores) ;
- T2 : Plantules non mycorhizées + sol stérile de la région + spores (20 spores / plantule) L'expérience a duré deux ans dans une serre vitrée dans des conditions proches de la normale et pour chaque traitement, six plantules ont été soumises à une mesure destructrice mensuelle. Des prélèvements de plantules (partie aérienne + racines), ainsi que du sol au pied de chaque individu a été effectuée pour suivre l'état de mycorhization des plants, faire l'analyse minérale des parties aériennes et du sol.

L'observation de la colonisation racinaire a été faite après coloration selon la technique de Philips et Hayman (1970) et le pourcentage de colonisation a été déterminé suivant la méthode de Trouvelot *et al.* (1986) et confirmé par la méthode de McGonigle *et al.* 1990.

Le traitement statistique des résultats est réalisé grâce au logiciel STATITCA version 5, Beaux et al (1991). L'ensemble des mesures a fait l'objet d'une analyse de la variance à deux ou trois facteurs par le test F de Fisher pour vérifier l'hypothèse d'égalité des moyennes au seuil de risque de 5 %. Elle est complétée par des comparaisons multiples des moyennes par le test de Newman et Keuls quand l'hypothèse d'égalité des moyennes est rejetée, selon Steel Robert et James (1980) et Dagnélie (1986).

RÉSULTATS

Mise en évidence de la présence des mycorhizes dans les sols des oasis étudiées

En s'inspirant des observations microscopiques des dissections des racines de tous les cultivars considérés du palmier dattier (Deglet Nour, Alig, Kinta, Hamraya et Halwaya) ainsi que celles des sols correspondants de la partie souterraine du palmier dattier, on révèle la présence de CMA qui vivent en association avec les racines. L'étude des racines des palmiers échantillonnés de toutes les palmeraies choisies montre que les palmeraies traditionnelles ont un taux de colonisation plus élevé que celui des palmeraies récentes (phœniciculture seule). Cela s'explique peut-être par l'utilisation massive de produits chimiques dans ces dernières.

Colonisation de racines des poireaux

Les racines de poireau se sont montrées réceptives aux champignons mycorhiziens arbusculaires. La fréquence moyenne de mycorhization des tissus racinaires de poireau à la fin du cycle est de 95,8 % et le nombre de spores compté pour 100 g de sol a été, en moyenne, de 80 spores.

Évaluation de colonisation mycorhizienne des plantules de palmier dattier

La colonisation de racine des plantules de palmier dattier a été évaluée pour chaque traitement, en employant un certain nombre de paramètres. Les plus importants sont : intensité de colonisation (I) et fréquence de colonisation (F).

- intensité de colonisation du cortex (I), exprimant la portion du cortex colonisée par rapport à l'ensemble du système racinaire ;
- fréquence de mycorhization (F), reflétant l'importance de l'infection du système racinaire (nombre de racines mycorhizées par rapport au nombre observées).

Intensité de la colonisation de racine (I)

Cette intensité de colonisation est mesurée pour les plantules de palmier dattier durant deux ans pour s'assurer qu'aucun effet indésirable n'apparaisse, et aussi pour voir jusqu'à quel point le champignon peut-être bénéfique à la plante une fois la symbiose parfaitement établie (*figure 1*).

T0 : témoin non traité

T1 : Inoculation par des spores

T2 : Inoculation par le sol mycorhizé

La *figure 1* montre que la colonisation par les CMA est nulle pour les racines des plantules témoins durant les deux ans de culture alors que pour les traitements T1 et T2 cette colonisation est faible ou presque nulle pour la saison de l'hiver. Les valeurs

les plus importantes ont été enregistrées sur les prélèvements effectués durant les saisons d'été et d'automne.

Fréquence de mycorhization (F)

Cette fréquence de mycorhization est mesurée pour les plantules de palmier dattier durant deux ans (*figure 2*).

Les résultats illustrés dans la *figure 2* ont révélé un effet de la date d'échantillonnage pour la fréquence de colonisation des racines. Les données de la fréquence varient de 5 à 100 %. Les plus hautes fréquences de mycorhization ont été observées à partir du mois de mars.

T1 : Inoculation par des spores

T2 : Inoculation par le sol mycorhizé

Par ailleurs, l'observation microscopique de la colonisation racinaire au cours du temps a montré que :

- quelques jours après l'inoculation, l'observation des racines des plantules de palmier dattier montre que la colonisation par les champignons mycorhiziens est nulle dans les racines des tous les traitements considérés (T0, T1 et T2) ;
- à partir du mois de novembre jusqu'à début mars, un nombre limité de racines étaient mycorhizées, mais que cette colonisation était très faible. De plus, l'absence de vésicules est un signe d'une colonisation récente.
- Au printemps, la colonisation racinaire des plantules inoculées a augmenté. Par ailleurs, on note la présence d'hyphes, de vésicules et d'arbuscules dans les racines de ces plantules. Mais, ces structures fongiques ne sont pas présentes sur toute la longueur des racines. La formation des vésicules est généralement faible (<50%) par rapport aux arbuscules. Seules les plantules inoculées par le sol mycorhizé de la région (T2), présentent une formation précoce de vésicules, tandis que ceux inoculés par les spores (T1), ne produisent des vésicules qu'après deux semaines du traitement (T2).
- En été, On observe une augmentation de la colonisation racinaire des plantules inoculées.
- En automne, on note une colonisation dans les racines de ces plantules plus élevée que pour les autres saisons.

Les taux de colonisation relativement importants enregistrés dans les racines des plantules de palmier dattier échantillonnées en été et en automne.

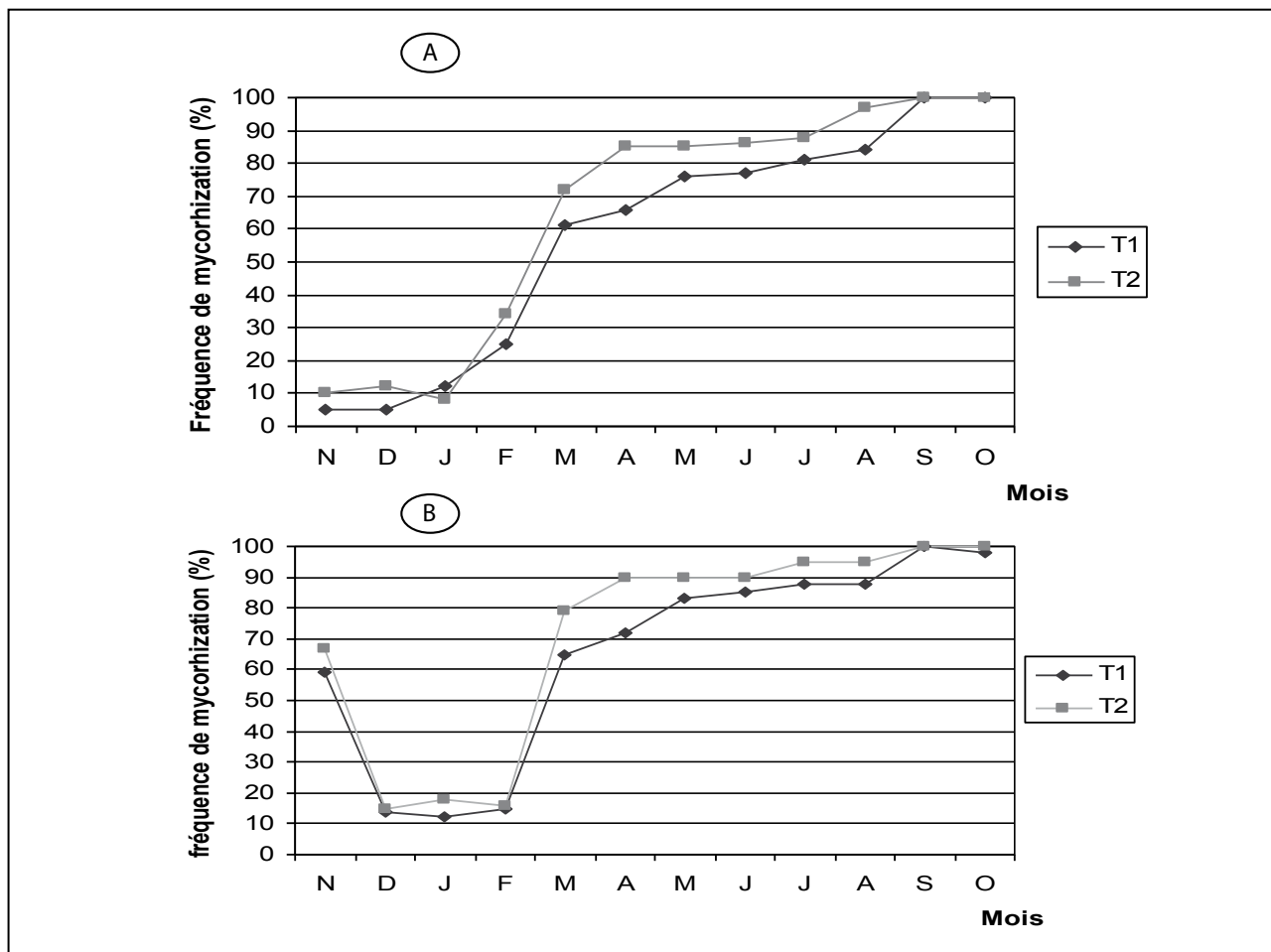
Composantes aériennes et souterraines des plantules

L'inoculation mycorhizienne des plantules par le sol mycorhizé de la région (T2), donne des masses sèches aériennes et racinaires plus élevés que celles des plants mycorhizés par des spores de CMA seules (T1).

L'examen séparé des composantes aériennes et souterraines des plants du palmier dattier montre que la masse sèche de la partie aérienne croît plus rapidement que celle des racines (*tableau 3*).

Figure 2 - Fréquence de mycorrhization (F %) durant la première année (a) et la deuxième année (b) après l'inoculation.

Figure 2 - Frequency of Mycorrhization (F %) during the first year (a) and the second year (b) after inoculation.



La meilleure efficacité d'un système racinaire mycorhizés, par rapport à la même plantule non mycorhizée peut être mise en évidence par l'amélioration de la croissance.

La hauteur des parties aériennes (exprimé en cm) est accrue de manière remarquable, autant pour les traitements (T1 et T2), que pour les plantules (T0) (tableau 4).

La fréquence de mycorrhization à ce stade est de 100 %. Cette colonisation stimule la hauteur et la biomasse de pousse et augmentent le nombre de feuilles par plantule.

Evaluation de la nutrition minérale des plantules de palmier dattier

L'expérience menée en serre sur les plantules issues des graines de cultivar « Deglet Nour » de palmier dattier nous a montré, dès le quatrième mois après l'inoculation, une amélioration significative de la nutrition minérale des plantules mycorhizées par rapport aux plantules non mycorhizées du

même âge. A l'âge de 24 mois, cette amélioration de la nutrition minérale des plantules inoculées par rapport aux plantules non inoculées est devenue plus importante.

Les teneurs en éléments minéraux dans les feuilles des plantules de palmier dattier déterminées au cours des différentes saisons sont représentées dans les tableaux 5 et 7.

L'étude statistique a montré qu'il y a un effet significatif du traitement sur les teneurs en éléments minéraux (N, P, K, Ca, Mg, Cu et Zn) pour toutes saisons confondues. Les teneurs les plus élevées sont trouvées au niveau du traitement T2 pour N, P, K, Ca, Cu et Zn. Par contre, pour le magnésium (Mg), les teneurs les plus élevées sont au niveau du traitement T0 (tableau 6).

L'étude des changements saisonniers de composition minérale du feuillage de ces plantules de palmier dattier durant la deuxième année après l'inoculation montre que pour les différents traitements (témoin, sol mycorhizé et spores) les cinétiques d'absorption des éléments nutritifs (N, K, Ca, Mg, Cu et Zn) sont similaires. Alors que pour le P, les allures d'absorption

Tableau 3 - Effet de la symbiose mycorhizienne sur la masse sèche des parties aérienne et racinaire du palmier dattier (RM %) (24 mois après l'inoculation).**Table 3** - Effect of mycorrhizal symbiosis on the dry weight of different parts of date palm (RM %) (24 months after inoculation).

Plants du palmier dattier	Poids sec (g)		Réponse de Mycorhization (RM %)	
	Système aérien	Système racinaire	Système aérien	Système racinaire
Témoin non traité	6,669 c	0,246 b	100	100
Inoculation par des spores	9,138 b	0,296 a	137	120,3
Inoculation par le sol mycorhizé	9,672 a	0,322 a	145	131

Tableau 4 - Effet de la symbiose mycorhizienne sur la hauteur et le nombre de feuille des plantules de palmier dattier (24 mois après inoculation).**Table 4** - Effect of mycorrhizal symbiosis on the height and number of leaves of date palm seedlings (24 months after inoculation).

Matériel végétal	Hauteur moyen (cm)	Nombre moyen de feuilles
Témoin (T0)	24,2 c	3,4 b
Plantules mycorhizés par les spores (T1)	28,6 b	5,2 a
Plants mycorhizés par le sol (T2)	32,3 a	5,8 a

Tableau 5 - Teneurs en éléments minéraux des parties aériennes des plantules de palmier dattier durant la première année après l'inoculation.**Table 5** - Nutrient contents of the aerial parts of date palm seedlings during the first year of cultivation.

Saison	Traitement	N (mg/gMS)	P (mg/gMS)	K %	Ca %	Mg ‰	Zn ppm	Cu ppm
Hiver	témoin	1,50±0,03	0,86±0,04	0,68±0,03	0,67±0,01	0,71±0,02	8,33±0,06	4,57±0,15
	sol mycorhizé	1,53±0,03	0,91±0,01	0,69±0,01	0,67±0,06	0,70±0,01	8,37±0,06	4,57±0,11
	spores	1,51±0,03	0,90±0,01	0,67±0,01	0,66±0,06	0,68±0,02	8,33±0,06	4,57±0,06
Printemps	témoin	1,26±0,06	0,75±0,02	0,63±0,02	0,83±0,04	0,69±0,03	8,00±0,17	4,90±0,20
	sol mycorhizé	1,34±0,05	0,98±0,02	0,65±0,01	0,90±0,04	0,65±0,02	8,47±0,06	4,97±0,15
	spores	1,29±0,05	0,86±0,02	0,64±0,01	0,85±0,04	0,67±0,02	8,13±0,06	4,83±0,15
Été	témoin	1,22±0,01	0,63±0,04	0,60±0,01	1,02±0,05	0,76±0,01	8,23±0,21	4,63±0,06
	sol mycorhizé	1,34±0,03	1,21±0,15	0,62±0,01	1,17±0,09	0,69±0,05	8,70±0,10	4,87±0,06
	spores	1,28±0,03	0,95±0,07	0,60±0,01	1,06±0,07	0,71±0,02	8,40±0,20	4,77±0,06
Automne	témoin	1,06±0,06	0,58±0,03	0,57±0,00	1,14±0,05	0,80±0,01	8,50±0,00	4,60±0,14
	sol mycorhizé	1,28±0,01	1,49±0,03	0,60±0,01	1,29±0,02	0,72±0,07	8,85±0,07	4,85±0,05
	spores	1,16±0,02	1,10±0,05	0,59±0,00	1,17±0,06	0,74±0,01	8,65±0,07	4,80±0,00

Tableau 6 - Résultats d'analyse statistique de teneur en éléments minéraux des parties aériennes de plantules de palmier dattier pour la première année après l'inoculation.

Table 6 - Results of statistical analysis of mineral content of the aerial parts of date palm seedlings for the first year after inoculation.

Eléments minéraux	N %	P %	K %	Ca %	Mg %	Cu ppm	Zn ppm
Traitements							
Témoin (T0)	1,263 c	0,705 c	0,620 b	0,915 c	0,740 a	4,675 c	8,265 c
Spores(T1)	1,310 b	0,952 b	0,625 b	0,935 b	0,700 b	4,742 b	8,377 b
Sol mycorhizé (T2)	1,373 a	1,147 a	0,634 a	1,007 a	0,690 c	4,815 a	8,597 a

Tableau 7 - Composition minérale des parties aériennes des plantules de palmier dattier durant la deuxième année après l'inoculation.

Table 7 - Mineral composition of the aerial parts of date palm seedlings during the second year after inoculation.

Saison	Traitement	N %	P %	K %	Ca %	Mg %	Zn ppm	Cu ppm
Hiver	témoin	1,10±0,01	0,58±0,00	0,55±0,02	1,21±0,03	0,82±0,01	8,40±0,06	4,60±0,01
	sol mycorhizé	1,20±0,00	1,50±0,02	0,60±0,02	1,37±0,02	0,76±0,00	8,90±0,03	4,90±0,06
	spores	1,11±0,03	1,10±0,01	0,58±0,00	1,25±0,01	0,77±0,00	8,80±0,00	4,90±0,03
Printemps	témoin	0,95±0,00	0,55±0,02	0,52±0,00	1,33±0,06	0,80±0,03	8,40±0,00	4,70±0,00
	sol mycorhizé	1,16±0,01	1,52±0,06	0,57±0,03	1,45±0,02	0,74±0,00	8,90±0,03	4,90±0,03
	spores	1,08±0,01	1,18±0,03	0,56±0,00	1,36±0,03	0,76±0,00	8,90±0,00	4,90±0,01
Été	témoin	0,94±0,03	0,46±0,01	0,50±0,03	1,36±0,00	0,78±0,02	8,40±0,00	4,90±0,00
	sol mycorhizé	1,02±0,02	1,64±0,00	0,55±0,03	1,52±0,01	0,75±0,00	9,10±0,02	5,10±0,00
	spores	0,98±0,00	1,31±0,06	0,51±0,02	1,41±0,06	0,71±0,00	8,90±0,00	5,00±0,06
Automne	témoin	0,62±0,00	0,41±0,00	0,41±0,06	1,49±0,02	0,79±0,00	8,50±0,06	4,90±0,03
	sol mycorhizé	0,86±0,01	1,65±0,02	0,52±0,03	1,58±0,03	0,72±0,01	9,10±0,03	5,00±0,02
	spores	0,88±0,00	1,39±0,01	0,46±0,00	1,46±0,02	0,69±0,02	9,00±0,00	5,10±0,01

Tableau 8 - Résultats de l'analyse statistique de teneur en éléments minéraux des parties aériennes des plantules de palmier dattier pour la deuxième année après l'inoculation.

Table 8 - Results of statistical analysis of mineral content of the aerial parts of date palm seedlings for the second year after inoculation.

Traitement	N %	P %	K %	Ca %	Mg %	Zn ppm	Cu ppm
Témoin (T0)	0,902 c	0,500 c	0,495 c	1,347 b	0,732 b	8,427 c	4,775 b
Spores (T1)	1,012 b	1,245 b	0,527 b	1,367 b	0,743 b	8,900 b	4,975 a
sol mycorhizé (T2)	1,060 a	1,577 a	0,560 a	1,480 a	0,802 a	9,000 a	4,975 a

de cet élément pour les différents traitements sont différentes (tableau 7).

Généralement, les teneurs en éléments minéraux ont montré des variations, principalement entre le traitement témoin et les traitements mycorhizés (tableaux 5 et 7). Les différences enregistrées entre les différents traitements ne sont pas constantes d'un traitement à l'autre et d'une saison à l'autre.

L'augmentation concomitante des teneurs en éléments minéraux, des macroéléments (phosphore et azote et des microéléments (zinc et cuivre), observée dans les systèmes aériens des plantules mycorhizées, montre que celles-ci ont prélevé des quantités plus grandes de ces éléments que les plantules non mycorhizées (tableau 7).

Les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de risque 5 %. (Test Newman-Keuls).

L'inoculation mycorhizienne a eu un effet significatif ($p < 0,05$) sur les teneurs en azote, phosphore, potassium et zinc des parties aériennes des plantules de palmier dattier durant la deuxième année après l'inoculation. L'analyse statistique montre que, pour ces éléments, le traitement avec le sol mycorhizé (T2) a des teneurs plus élevées que les autres traitements T0 et T1 (tableau 7).

Pour le calcium et le magnésium, l'analyse statistique montre qu'il n'y a pas de différences significatives entre le traitement avec les spores (T1) et celui du témoin (T0), alors qu'il y a des différences significatives entre ces deux traitements et le traitement avec le sol mycorhizé (T2).

Pour le cuivre, il y a des différences significatives entre les traitements T1 et T2 et celui du traitement T0.

DISCUSSIONS

Les résultats de ce travail concernant la nutrition minérale du palmier dattier en fonction des traitements étudiés : inoculation des plantules avec des spores de CMA (T1), inoculation par un sol non stérilisé (T2) et la non inoculation (T0), ont montré que les plantules mycorhizées accumulent plus de phosphore et d'autres éléments peu mobiles dans le sol tels que le Zn et le Cu que les plantules de même âge non mycorhizées. Il n'est pas exclu que la nutrition azotée et la nutrition potassique puissent aussi être améliorées sous l'effet de la mycorhization. Ce résultat rejoint ceux trouvés par Pacheco et Cambraia (1992) et Oihabi (1991).

Certains de nos résultats indiquent que les CMA, en plus d'absorber eux-mêmes des éléments minéraux, seraient capables de conditionner la racine à absorber préférentiellement certains minéraux. Cependant, la présence du mycorhize diminue l'interaction négative entre certains éléments et les rend beaucoup plus disponibles aux plantules. Il est aussi à noter que ces résultats confirment ceux trouvés par Hamel et Strullu

(2006), Tinker (1984) et Al-Wahaibi et Khaliel (1994) sur la teneur en ces éléments minéraux.

En ce qui concerne le contenu en éléments minéraux retrouvés dans les parties aériennes des plantules de palmier dattier, les résultats indiquent que les différences observées chez les plantules mycorhizées varient selon le mode d'inoculation utilisé. Généralement, les plantules inoculées par le sol mycorhizé ont des teneurs en éléments minéraux plus élevées que ceux inoculées par les spores, ceci permettrait de dire qu'il est possible que, lors de l'inoculation, nous ayons introduit parallèlement d'autres organismes comme certaines bactéries qui peuvent avoir influé sur ce facteur (Lecomte, 2010).

Les résultats de ce travail montrent aussi que l'intensité de mycorhization des plantules de palmier dattier varie selon les saisons avec une dépression pendant l'hiver et un pic correspondant à la saison automnale qui est caractérisée par une activité symbiotique plus intense dont on trouve généralement toutes les structures fongiques sur toute la longueur des racines.

CONCLUSION

La présente étude permet de confirmer la dépendance du palmier dattier vis-à-vis des CMA. L'inoculation a permis une amélioration de la croissance et de la nutrition minérale des plantules de palmier dattier. Les meilleurs résultats ont été obtenus chez les plantes inoculées avec le sol non stérile. Ces champignons peuvent stimuler la plantule du palmier dattier à absorber un élément plutôt qu'un autre ou bien encore rendre certains éléments plus disponibles ou plus facilement assimilables par les racines de la plantule du palmier dattier.

L'amélioration de la nutrition minérale s'est traduite par une hausse significative de croissance de la partie aérienne (masse sèche) allant jusqu'à 45 % a été obtenue avec les plantules mycorhizées. Ceci peut être vital pour la replantation du palmier dattier dans son milieu naturel.

Ces résultats suggèrent que les champignons mycorhiziens arbusculaires peuvent fournir aux agriculteurs un outil supplémentaire pour réduire les apports en engrais chimiques, améliorer la fertilité des sols et augmenter leurs rendements.

BIBLIOGRAPHIE

- Al-Wahaibi MH, Khaliel AS., 1994. The effect of Mg and Ca, K and P content of date palm seedlings under mycorrhizal and nonmycorrhizal conditions. *Mycoscience*, 35, 213-217
- Beaux M. F., Gouet H., Gouet J.P., Morghem P., Philippeau G., Tranchefort J. et Verneau M., 1991. Logiciel STATITCF. (ITCF. France, I.T.C.F. = Institut Technique des Céréales et des Fourrages).
- Boureima S., Diouf M., Diop T.A., Diatta M., Leye E. M., Ndiaye F. and Seck D., 2008. Effects of arbuscular mycorrhizal inoculation on the growth and the development of sesame (*Sesamum indicum* L.). *African Journal of Agricultural Research*, 3, 234-238.

- Brown M.S., Bethelenfalvay G.J., 1987. Glycine *Glomus*-Rhizobium symbiosis, *Plant Physiol.*, 85, 120-123.
- Dagnélie, P., 1986. *Théorie et méthodes statistiques. Applications agronomiques*. Presse Universitaire de Gembloux. Belgique.
- Hamel, C. and Strullu, D.-G., 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi in field crop production : Potential and new direction, *Can. J. Plant Sci.*, 86, 941-95.
- Jaïti F. and El Hadrami I., 2008. Effect of jasmonic acid on induction of polyphenoloxidase and peroxidase activities in relation to date palm resistance against *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*. *Phytopath. Medit.*, 43, 325-331.
- Khaliel AS, Abou-Heilah AN., 1985. Formation of vesicular-arbuscular mycorrhizae in *Phoenix dactylifera* L., cultivated in Qassim region, Saudi Arabia. *Pakistan J. Bot.*, 17, 267-270.
- Labidi S., Ben Jeddî F., Tisserant B., Debiane D., Rezgui S., Grandmougin-Ferjani A., Lounès-Hadj Sahrroui. 2011. Role of arbuscular mycorrhizal symbiosis in root mineral uptake under CaCO₃ stress. Mycorrhiza. DOI : 10.1007/s00572-011-0405-z
- Lecomte J., 2010. Étude de l'interaction entre le champignon mycorrhizien *Glomus irregulare* et les bactéries du sol. Mastère. Université de Montréal (Canada).
- McGonigle TP, Miller MH, Evans DG, Fairchild GL, Swan JA., 1990. A new method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytol.*, 115, 495-501.
- Oihabi A., 1991. Étude de l'influence des *endomycorhizes* à *vésicules* et *arbuscules* sur le Bayoud et la nutrition du palmier dattier, Thèse de Doctorat d'État, Univ. Cadi Ayyad (Marrakech).
- Pacheco S., Cambraia J., 1992. Phosphorus uptake by mycorrhizal and nonmycorrhizal *Pinus* roots. *Revista de Microbiologia*, 23(4), 260-263.
- Pauwels Jm, Van Ranst E., Verloo M. et Mvondo ZA., 1992. Méthodes d'analyses d'éléments majeurs dans la plante. Manuel de laboratoire de pédologie : Méthodes d'analyses des sols et des plantes. Equipement, gestion des stocks de verrerie et produits chimiques. Publications agricoles. AGCD, Bruxelles.
- Philips JM, Hayman DS., 1970. Improved procedures for clearing root and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Br. Mycol. Soc.*, 55, 158-161.
- Steel, R.G.D. and Torrie J.H., 1980. *Principles and Procedures of Statistics : A Biometric Approach*. New York : McGraw-Hill.
- Tinker PB., 1984. The role of microorganisms in mediating and facilitating the uptake of plant nutrients from soil. *Plant Soil*, 76, 77-91.
- Trouvelot A, Kouch J, Gianinazzi-pearson V., 1986. Mesure du taux de mycorrhization VA d'un système racinaire : Recherche de méthodes d'estimation ayant une signification fonctionnelle. Les mycorhizes : Physiologie et génétique. *1er séminaire, 1-5 juillet, 1985*, Dijon : INRA, 217- 221.