

Etude de la dynamique de la colonisation mycorhizienne de deux variétés d'arganier en Tunisie

S. EL ADIB^{*1}, S. SLIM² F.BEN JEDDI¹

¹ Université de Carthage. Laboratoire des Sciences Horticoles, INA Tunisie, 43, avenue Charles Nicolle, Tunis, 1082 Tunisie.

² Université de Carthage. Laboratoire des Sciences Horticoles, ESA Mateur.

* Corresponding author: Seif.eladib@gmail.com

Abstract - The Argan tree (*Argania spinosa* L. Skeels) contain two varieties, *mutica* (spineless) and *apiculata* (thorny). The seasonal effect along a cycle phénologique annual on the variation of the rates of arbuscules, vesicles and rate of mycorrhizes total of two varieties of argan tree implanted in the arboretum of the INA TUNISIA was analyzed under the influence of the variation of the pluviometry and the thermal accumulation. During the wintry and spring seasons, the significant increase of the rates of arbuscules for both varieties with 67,75 % and 32,19 % respectively for *mutica* and *apiculata* in winter and 70,96 % and 28,14 % respectively for *mutica* and *apiculata* in spring. For vesicles, the optimum of the rates was noted in spring for both varieties with 25,22 % and 7,7 % respectively for *mutica* and *apiculata*. These seasonal variations are the results (profits) of the variation of the quantity of pluviometry and the thermal accumulation during all the cycle phénologique. So the quantity of pluviometry reached (affected) 200 ml in winter and mark his(her,its) maximum in spring with 356,75ml knowing that one autumn the pluviometry did not exceed(overtake) 100 ml. On the other hand, the variation of the maximal and minimal temperatures strongly influenced the rates of mycorrhization of the roots of both varieties. So, for the spring season, the CT is 4368,95 C°J, in winter it is of 3936,13C°J while in summer it does not exceed(overtake) 1153,53 C°J. The rate of mycorrhizes total counted on the roots of both varieties represents the result (profit) of the interaction of the rates of arbuscules and of and of vesicles on one hand, and the variation of the pluviometry and the temperature on the other hand.

Keywords: *Argania spinosa* / mycorrhizes / pluviometry /thermal accumulate.

Résumé - L'Arganier (*Argania spinosa* L. Skeels) comporte deux variétés, *mutica* (inermes) et *apiculata* (épineuse). L'effet saisonnier le long d'un cycle phénologique annuel sur la variation des taux d'arbuscules, vésicules et taux de mycorrhizes total de deux variétés d'arganier implantés dans l'arboretum de l'INA Tunisie a été analysé sous l'influence de la variation de la pluviométrie et du cumul thermique. Durant les saisons hivernale et printanière, une augmentation significative des taux d'arbuscules pour les deux variétés avec 67,75% et 32,19% respectivement pour *mutica* et *apiculata* en hiver et 70,96% et 28,14% respectivement pour *mutica* et *apiculata* au printemps. Pour les vésicules, l'optimum des taux a été noté au printemps pour les deux variétés avec 25,22% et 7,7% respectivement pour *mutica* et *apiculata*. Ces variations saisonnières sont les résultats de la variation de la quantité de pluviométrie et du cumul thermique durant tout le cycle phénologique. Ainsi la quantité de pluviométrie a atteint les 200 ml en hiver et marque son maximum au printemps avec 356,75ml sachant qu'en automne la pluviométrie n'a pas dépassée les 100 ml. D'autre part, la variation des températures maximales et minimales a fortement influencée les taux de mycorrhization des racines des deux variétés. Ainsi, pour la saison printanière, le CT est de 4368,95 C°J, en hiver il est de 3936,13C°J alors que en été il ne dépasse pas les 1153,53 C°J. Le taux de mycorrhizes total dénombré sur les racines des deux variétés représente le résultat de l'interaction des taux d'arbuscules et de vésicules d'une part, et la variation de la pluviométrie et de la température d'autre part.

Mots clés : *Argania spinosa*-mycorrhizes-pluviométrie-cumul thermique.



1. Introduction

La symbiose endomycorhizienne concerne l'immense majorité des plantes de zones arides et semi-arides. En particulier, tous les arbres connus par leur résistance à la sécheresse portent des endomycorhizes : acacias (Diem *et al.*, 1981), thuya de Berbérie (Díaz et Honrubia, 1993), arganier (Nouaïme *et al.*, 1991), oléastre, caroubier, palmier dattier. La variété inerme *mutica* s'est montrée différente morphologiquement de la variété épineuse *apiculata* (le Maire, 1929). Dans d'autres travaux elle s'est montrée différente point de vue écophysologique (El Adib *et al.*, 2014). Les champignons mycorhiziens à vésicules et arbuscules (MVA) ont montrés plusieurs d'intérêt durant les dernières années à cause de leur effet favorable principalement sur l'absorption de l'eau et des éléments nutritifs (Kormanik *et al.*, 1982; Fontana, 1985; Strullu, 1990). L'accent a été particulièrement mis sur le genre *Glomus* qui est le plus efficace parmi les genres formant le groupe des MVA (Strullu, 1990). Les endomycorhizes à vésicules et arbuscules permettent à la plante d'acquérir les éléments minéraux, spécialement, les éléments peu mobiles dans le sol comme le phosphore, le cuivre et le zinc (Strullu, 1991; Harrison, 1999). Les résultats des prospections écologiques sous des conditions de stress hydrique effectuées par Achouri (1989) dans la région du Souss, ont montré que l'arganier, comme la majorité des espèces forestières, forme des endomycorhizes. Notre étude nous permettra de mettre en évidence l'influence de la pluviométrie et de la température sur la variation des taux de colonisation mycorhiziennes chez les deux variétés et son influence directe sur le comportement physiologique de l'arganier en Tunisie.

2. Matériel et méthodes :

2.1. Dispositif expérimental pour le prélèvement des mycorhizes

Cette étude a porté sur deux variétés d'Arganier: *Argania spinosa* var. *mutica* et *Argania spinosa* var. *apiculata* collectées de l'INAT (Institut National d'Agronomie de Tunis).

Les prélèvements sont fait des quatre cotés du tronc de chaque pied selon l'orientation naturelle (NE, NO, SE et SO). Pour assurer l'obtention d'échantillons homogènes, un prélèvement des quatre cotés est effectué chaque début de mois pour chaque variété.

2.2. Détermination de la colonisation mycorhizienne

Des racines fines de chaque arbre ont été prélevées selon le dispositif expérimental précité, et qui consiste à collecter les racines à partir des quatre cotés de chaque tronc. Pour assurer l'obtention d'échantillons homogènes, un prélèvement des quatre cotés est effectué chaque début de mois pour chaque variété.

2.2.1. Coloration des racines

La mise en évidence de la colonisation mycorhizienne du système racinaire de l'arganier se fait après coloration au bleu de Trypan. Des fragments de racines propres d'environ 5cm de long ont été mis dans une solution de conservation à base d'éthanol 50 %. Enfin, les racines ont été récupérées sur tamis fin et placées dans une solution de conservation d'acide lactique 50 % et préservées dans des piluliers à 4°C (Philips et Hayman, 1970).

2.2.2. Détermination des taux de mycorhization

Le taux de mycorhization a été déterminé après avoir mis entre lame et lamelle des racines colorées. Chaque échantillon est représenté par 5 lames (répétitions) préparées avec 15 fragments racinaires colorés au Bleu Trypan. Ces derniers ont été déposés délicatement sur les lames, recouverts d'acide lactique 50 % et de lamelles (McGonigle *et al.* 1990).

La lecture des lames a été faite sous microscope photonique (x 100) en vue de déterminer les 5 paramètres suivants:

- P: absence de toute structure mycorhizienne;
- Q: présence d'arbuscules uniquement;
- R: présence de vésicules uniquement;
- S: présence d'arbuscules et de vésicules; et
- T: présence d'hyphes uniquement.

Ces 5 paramètres ont permis le calcul des taux de colonisation totale, d'arbuscules et de vésicules suivant les trois formules ci-dessous:

$$\text{Taux de colonisation totale (H)} = ((G - P)/G) \times 100$$

$$\text{Taux d'arbuscules (A)} = ((P+S)/G) \times 100$$

$$\text{Taux de vésicules (V)} = ((R+S)/G) \times 100$$

2.3. Paramètres pluvio-thermique du site expérimental

2.3.1 Détermination du cumul thermique

Le calcul du cumul thermique de chaque mois de notre période d'étude a été effectué par le biais de la formule suivante :

$$\sum ((T_{\min} + T_{\max}) / 2) - T_b \text{ (Mass, 1993).}$$

Avec : T_{\min} : température minimale journalière;

T_{\max} : température maximale journalière; et

T_b : la température de base de développement de l'arganier et qui est de 3°C (M'hirit *et al.* 1998).

2.3.2 Caractérisation pluviométrique

Les données pluviométriques sont obtenus de la station de climatologie de l'INAT qui note et mesure le taux de pluviométrie de chaque mois en millimètre par rapport au sol.

2.3.3. Données pluvio-thermiques du site expérimental durant le cycle phénologique de l'étude.

Les données climatologiques relatives aux températures (minimale et maximale) et pluviosité mensuelles sont présentées sous forme de cumuls thermique et pluviométrique afin de les confronter avec les exigences de l'espèce *Argania spinosa* L. installée dans l'arboretum de l'INAT.

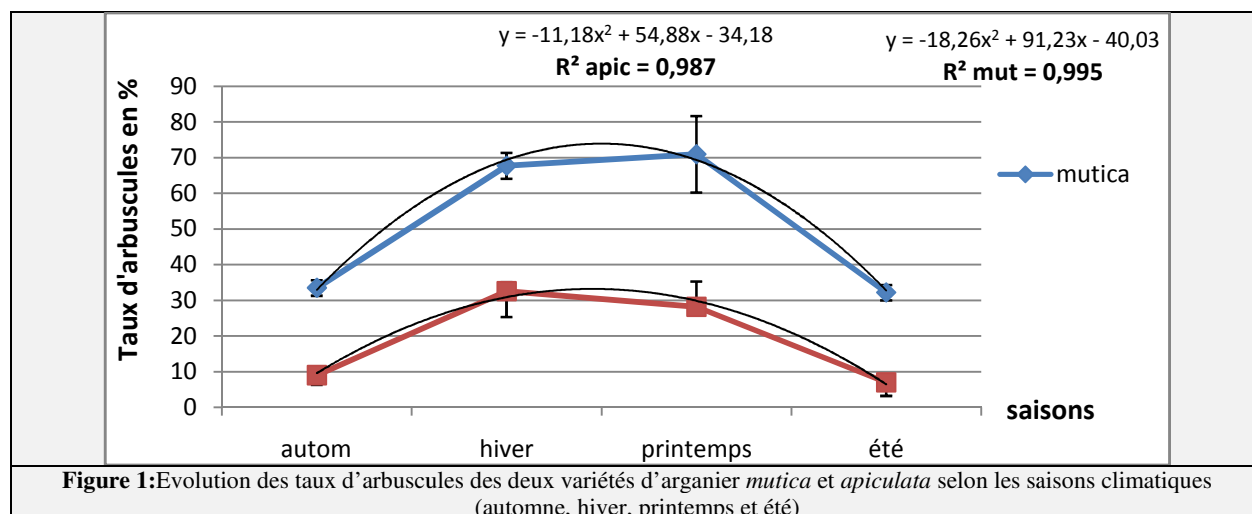
Tableau 1: données climatologiques mesurés durant le cycle phénologique				
	CT (°cj)	T°m (°c)	T°M (°c)	CP (mm)
Automne	2975,66	12,83	21,4	101,06
Hiver	3936,3 3	4,9	12,36	200,1
Printemps	4369	7,7	16	356,75
Eté	1154	17,36	28,06	0

Ct: cumul thermique; Tm: température minimale; TM: température maximale; CP: cumul pluviométrique

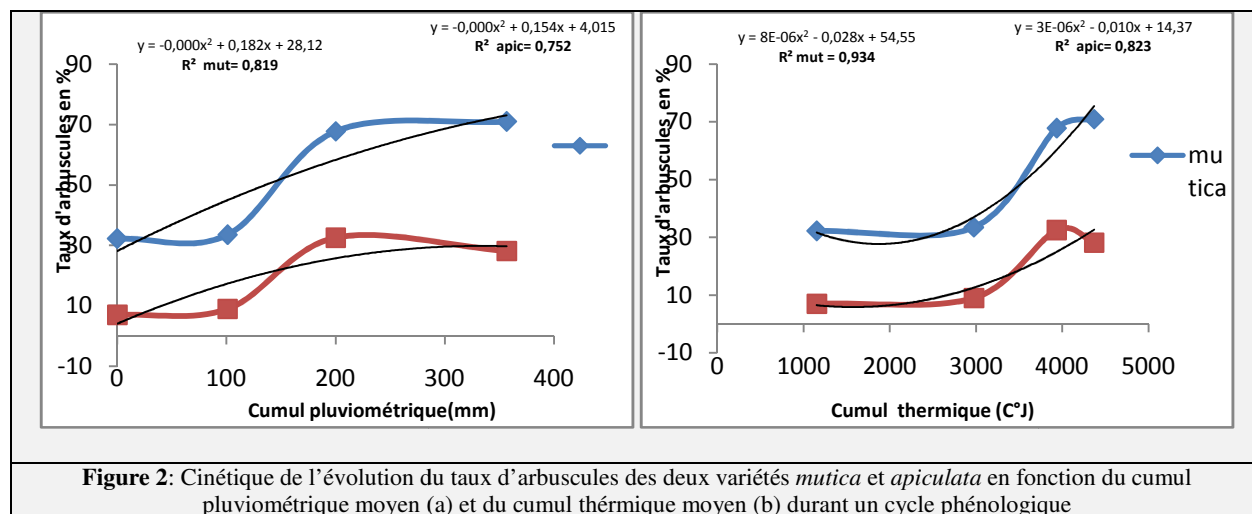
3. Résultats et discussions

3.1. Taux d'arbuscules pour *mutica* et *apiculata*

En suivant la dynamique de l'évolution de la colonisation des cellules racinaires en arbuscules mycorhiziens (figure 1), on remarque que le taux d'arbuscule constitue une phase ascendante le long de la saison d'automne pour les deux variétés mais avec des taux beaucoup plus importants pour les racines de *mutica* que celles de *apiculata*. Le taux d'arbuscules atteint son maximum en hiver dans les racines de la variété épineuse puis commence à diminuer au cours du printemps jusqu'à marquer une chute spectaculaire pendant la saison estivale avec des valeurs similaires à celle de l'automne qui marque le début de la saison.



Pour la variété inerme, on a noté la même évolution durant tout le cycle que celle de la variété *apiculata* mais les taux d'arbuscules dans les racines de cette variété sont beaucoup plus élevés. L'optimum de colonisation en arbuscules est noté au printemps chez la variété *mutica* suivi d'une chute similaire à celle de la variété *apiculata* en été. Pour les deux variétés, on a noté deux des différences significatives (tableau 2), uniquement entre les saisons du premier semestre (hiver et printemps) alors que les différences sont non significatives pour les saisons du deuxième semestre (automne et été). Le suivi de l'évolution de la cinétique du taux d'arbuscules des deux variétés durant les quatre saisons du cycle phénologique en fonction du cumul pluviométrique a révélé l'influence directe de la pluviométrie sur la colonisation des spores mycorhiziens et la formation des arbuscules (figure 2-a).



Ainsi pendant les deux saisons sèches (été et automne) où la pluviométrie n'a pas dépassée les 120 mm, on a noté des faibles taux d'arbuscules qui n'ont pas dépassés les 40% pour les deux variétés. D'autre part, durant les deux saisons humides avec des taux de pluviométrie assez élevés, on noté une augmentation remarquable des taux d'arbuscules pour les deux variétés. Pour la variété *mutica*, même en absence totale de pluviométrie, on noté un taux d'arbuscules de 30 % qui est presque le triple de celui de la variété *apiculata*. Les taux d'arbuscules atteignent leur maximum en hiver et restent élevés durant tout le printemps. L'étude de l'évolution de la cinétique du taux d'arbuscules des deux variétés durant les quatre saisons du cycle phénologique en fonction du cumul thermique a révélé l'influence directe de la température sur la colonisation des spores mycorhiziens et la formation des arbuscules (figure 2-b). Ainsi

pendant les deux saisons sèches (été et automne) où le cumul thermique n'a pas dépassé les 3000 C°J, on a noté des faibles taux d'arbuscules qui n'ont pas dépassés les 32% pour les deux variétés. Le minimum de cumul thermique nécessaire pour déclencher la formation des arbuscules dans les racines des deux variétés est 1000 C°J et le maximum de colonisation a été noté avec un cumul thermique de 4500 C°J chez la variété inerme.

3.2. Taux de vésicules pour *mutica* et *apiculata*

En étudiant la dynamique de l'évolution de la colonisation des cellules racinaires en vésicules mycorhiziens (fig3), on remarque que le taux de vésicules constitue une phase ascendante le long de la saison d'automne pour les deux variétés mais avec des taux beaucoup plus faibles pour les racines de la variété *apiculata* que celles de la variété *mutica*. Le taux de vésicules reste ascendant pour les deux variétés pendant l'hiver mais tjrs avec des taux assez importants pour la *mutica*.

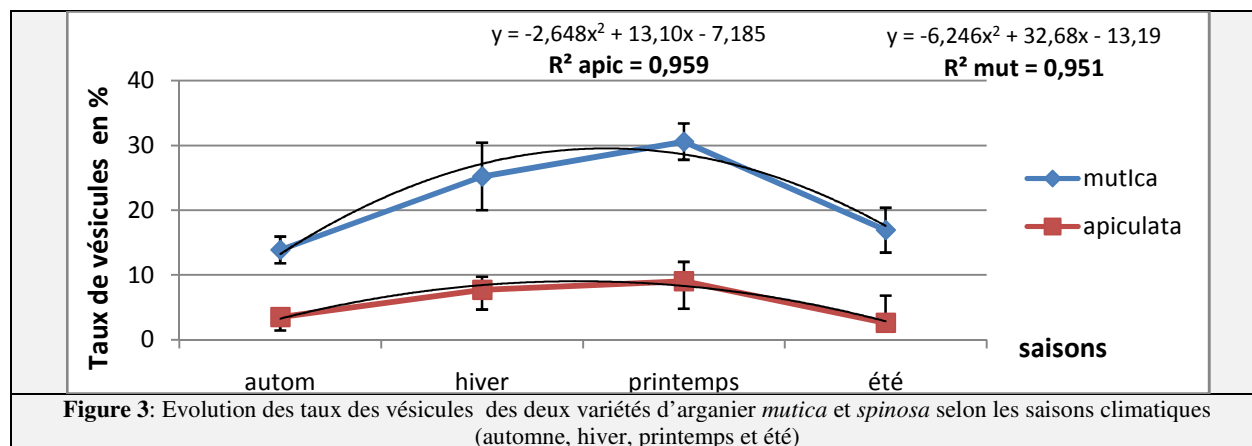


Figure 3: Evolution des taux des vésicules des deux variétés d'arganier *mutica* et *spinosa* selon les saisons climatiques (automne, hiver, printemps et été)

Il atteint son maximum au printemps dans les racines des deux variétés puis commence à diminuer au cours de la saison estivale chez la variété épineuse alors qu'il marque une chute spectaculaire pendant la saison estivale avec des valeurs similaires à celle de l'automne pour la variété *mutica*.. Pour la variété *mutica*, on a noté deux des différences significatives (tableau 2), entre les quatre saisons alors que pour la variété *apiculata*, les différences sont non significatives pendant l'hiver, l'automne et l'été. Le suivi de l'évolution de la cinétique du taux de vésicules des deux variétés durant les quatre saisons du cycle phénologique en fonction du cumul pluviométrique a révélé l'influence directe de la pluviométrie sur la formation des vésicules dans les racines (figure 4-a). Ainsi pendant les deux saisons sèches (été et automne) où la pluviométrie n'a pas dépassé les 120 mm, on a noté des faibles taux de vésicules qui n'ont pas dépassés les 15% pour les deux variétés.

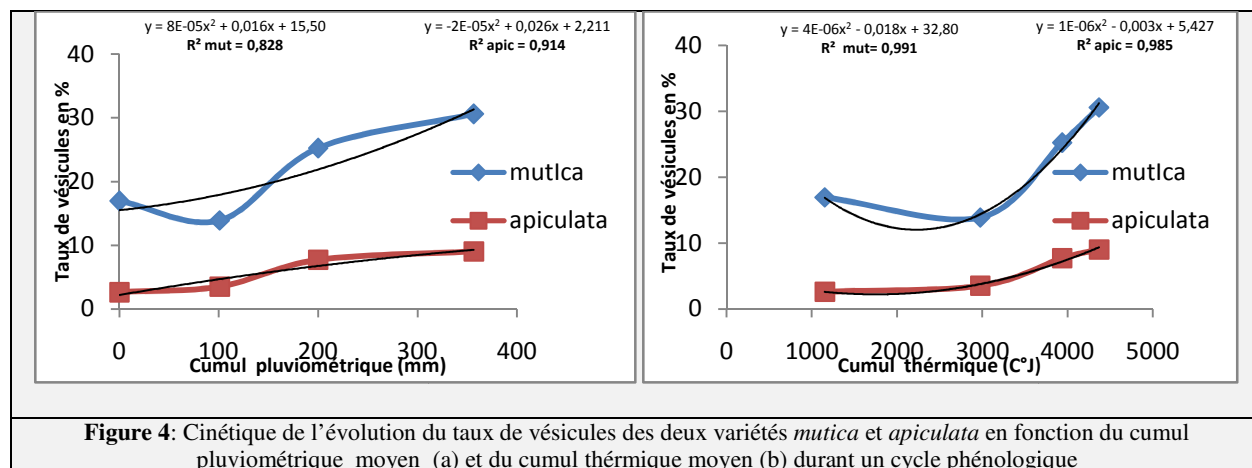


Figure 4: Cinétique de l'évolution du taux de vésicules des deux variétés *mutica* et *apiculata* en fonction du cumul pluviométrique moyen (a) et du cumul thermique moyen (b) durant un cycle phénologique

D'autre part, durant les deux saisons humides avec des taux de pluviométrie assez élevés, on noté une augmentation remarquable et continue des taux de vésicules pour les deux variétés. Pour la variété *mutica*, même en absence totale de pluviométrie, on noté un taux d'arbuscules de 17 % qui est presque quatre fois celui de la variété *apiculata*. Les taux de vésicules ont noté une chute au cours de la saison automnale pour les deux variétés et le maximum est atteint durant le printemps. L'étude de l'évolution de la cinétique du taux de vésicules des deux variétés durant les quatre saisons du cycle phénologique en fonction du cumul thermique a révélé l'influence directe de la température sur la formation des vésicules (figure 4-b). Ainsi pendant les deux saisons sèches (été et automne) où le cumul thermique n'a pas dépassée les 3000 C°J, on a noté des faibles taux de vésicules qui n'ont pas dépassés les 15% pour les deux variétés. Pour la variété *mutica*, les taux de vésicules restent en augmentation jusqu'à la fin du printemps alors que pour la variété *apiculata* on noté une stabilité dans les taux à la fin du printemps.

3.3. Taux de mycorhization total pour *mutica* et *apiculata*

L'étude de la variation de l'évolution de la colonisation des cellules racinaires en mycorhizes total (fig5), a notée que le taux de mycorhizes total constitue une phase ascendante le long de la saison d'automne pour les deux variétés mais avec des taux beaucoup plus importants pour les racines de la *mutica* (40,66%) que celles de l'*apiculata* (13,07%). La colonisation en mycorhizes total atteint son maximum en hiver dans les racines de la variété épineuse (38,14%) alors qu'on note une légère diminution au cours du printemps avec 35,85% jusqu'à marquer une chute spectaculaire pendant la saison estivale avec des valeurs similaires à celle de l'automne (9,33%).

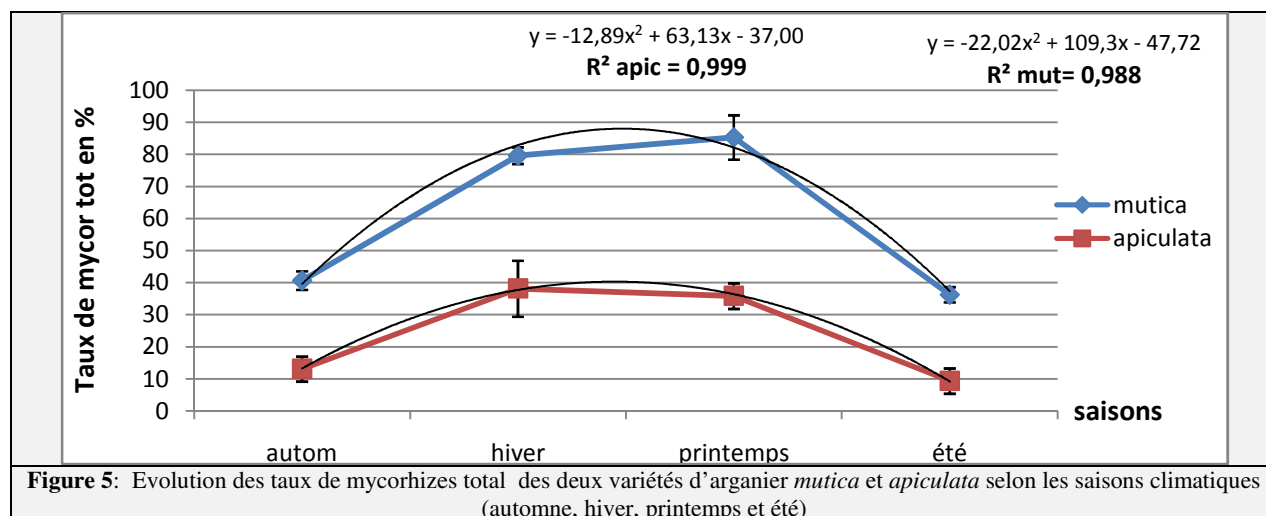
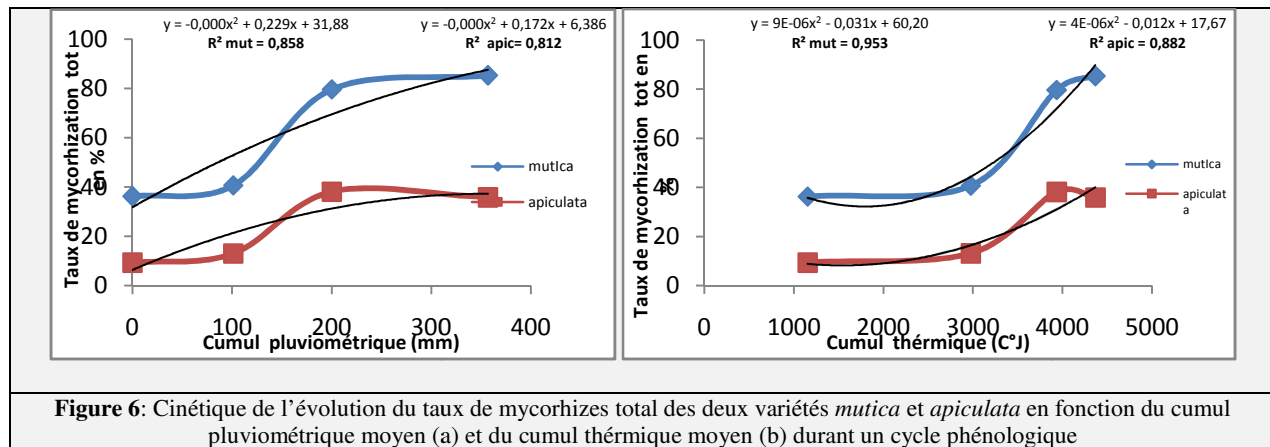


Figure 5: Evolution des taux de mycorhizes total des deux variétés d'arganier *mutica* et *apiculata* selon les saisons climatiques (automne, hiver, printemps et été)

Pour la variété inerme, on a noté la même évolution durant tout le cycle que celle de la variété *apiculata* mais les taux de mycorhizes sont presque trois fois plus important. L'optimum de colonisation est noté au printemps chez la variété *mutica* (85,33%) suivi d'une chute similaire à celle de la variété *apiculata* en été avec 36,24% de colonisation et donc une diminution de 42% par rapport au printemps. Pour les deux variétés, on a noté deux des différences significatives (tableau 2), entre les saisons du premier semestre (hiver et printemps) et celles des saisons du deuxième semestre (automne et été). Le suivi de l'évolution de la cinétique du taux de mycorhizes total des deux variétés durant les quatre saisons du cycle phénologique en fonction du cumul pluviométrique a révélé l'influence directe de la pluviométrie sur la colonisation des spores mycorhiziens et la formation des arbuscules (figure 6-a). Ainsi pendant les deux saisons sèches (été et automne) où la pluviométrie n'a pas dépassée les 120 mm, on a noté des faibles taux de mycorhizes qui n'ont pas dépassés les 40% pour les deux variétés.



D'autre part, pour la variété *mutica*, même en absence totale de pluviométrie, on noté un taux de mycorhizes de 37 % qui est presque le triple de celui de la variété *apiculata* (9%). Les taux de mycorhizes atteignent leur maximum en hiver et restent stables jusqu'à la fin du cycle. L'étude de l'évolution de la cinétique du taux de mycorhizes total des deux variétés durant les quatre saisons du cycle phénologique en fonction du cumul thermique a révélé l'influence directe de la température sur la colonisation des spores mycorhiziens et la formation des arbuscules et de vésicules (figure 6-b). Ainsi pendant les deux saisons sèches (été et automne) où le cumul thermique n'a pas dépassée les 3000 C°J, on a noté des faibles taux de mycorhizes qui n'ont pas dépassés les 40% pour les deux variétés.

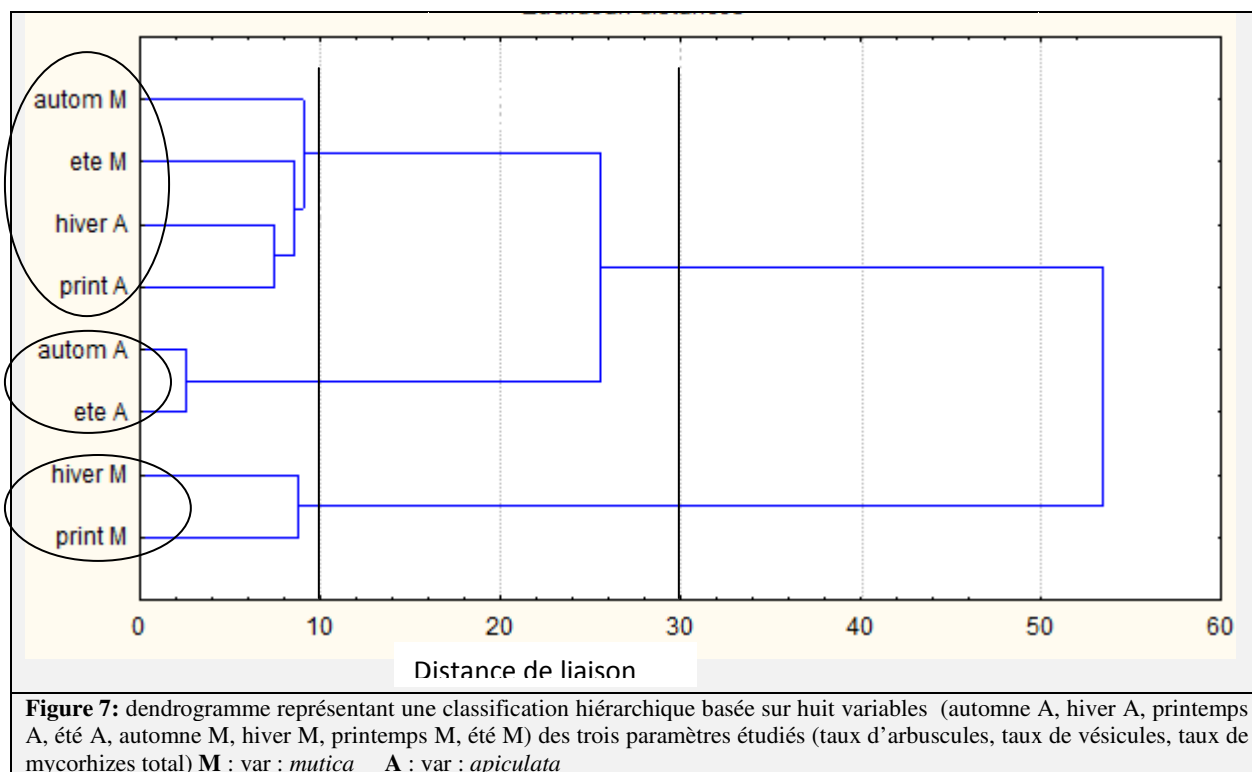
Tableau 2 : Résultats statistiques de la comparaison de la variation des taux d'arbuscules, vésicules et mycorhizes totale entre les deux variétés *mutica* et *apiculata*.

	Taux d'arbuscules	Taux de vésicules	Taux de mycorhizes tot
Automne <i>mutica</i>	22,91444 b	8,89111 ab	28,29778 b
Hiver <i>mutica</i>	67,75333 c	25,23444 c	78,17222 c
Printemps <i>mutica</i>	70,41222 c	30,95111 c	84,22778 c
Été <i>mutica</i>	32,19333 b	16,93778 b	36,24778 b
Automne <i>apiculata</i>	4,74222 a	2,07444 a	8,10000 a
Hiver <i>apiculata</i>	34,02444 b	8,69111 ab	40,19778 b
Printemps <i>apiculata</i>	28,03222 b	9,42333 ab	35,76778 b
Été <i>apiculata</i>	6,96333 a	2,62556 a	9,33333 a

Pour chaque variété (*mutica* et *apiculata*) et chaque saison (automne, hiver, printemps et été), les valeurs suivis de lettres différentes sont statistiquement différentes (p<0,05).

3.4. Dendrogrammes de classification hiérarchique des paramètres mycorhiziens étudiés

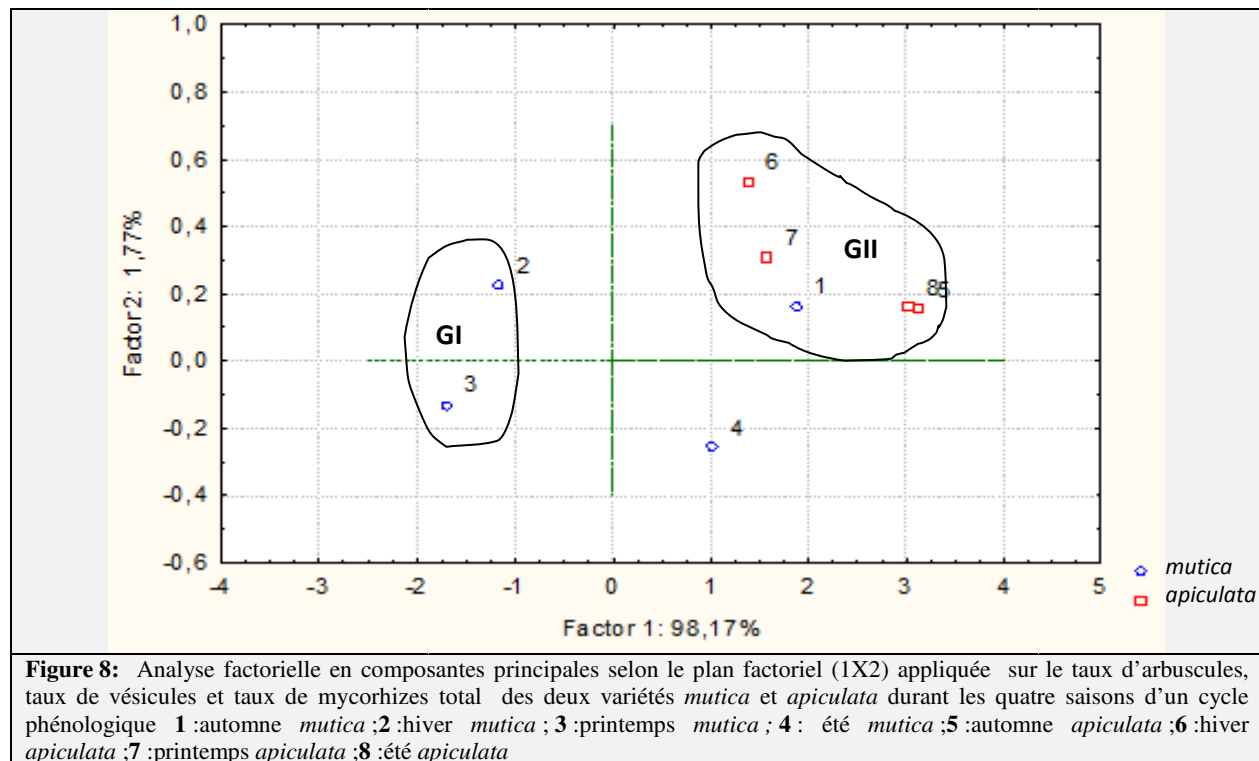
Le groupement des résultats en dendrogramme nous a permis d'organiser les paramètres étudiés en groupes (clusters) d'une façon à ce que les paramètres similaires soient dans le même groupe. Notre analyse sera selon la méthode ascendante (figure 7). Le dendrogramme est construit par des liens simples (simple linkage) donc les paramètres les plus proches sont les plus semblables. Les huit paramètres (autom *apiculata*, hiver *apiculata*, printemps *apiculata*, été *apiculata*, autom *mutica*, hiver *mutica*, printemps *mutica*, été *mutica*) ont été étudiés selon la variabilité des taux de arbuscules, vésicules et mycorhizes total. Le groupement des résultats en dendrogramme nous a permis d'organiser les paramètres étudiés en groupes (clusters) d'une façon à ce que les paramètres similaires soient dans le même groupe.



La classification hiérarchique ascendante des paramètres étudiés à une distance euclidienne de 10, a permis de distinguer trois groupes différents. Le premier est présenté par l'automne *mutica* et l'été *mutica*, hiver *apiculata* et printemps *apiculata* c'est-à-dire que la dynamique des taux d'arbuscules, taux de vésicules et de mycorhizes total est avec la même intensité chez les deux variétés au cours de ces deux saisons. Le deuxième groupe est présenté par l'automne de la variété *apiculata* et été *apiculata* et le troisième par l'hiver et le printemps de la variété *mutica*. A la distance euclidienne de 30, on distingue uniquement deux groupes, le premier formé par la fusion des deux premiers caractérisé par la dominance des saisons été et automne et spécifique de la variété *apiculata* plus que *mutica*. Cette classification a montrée que les variations des taux de mycorhizes au cours des deux saisons automnale et estivales sont similaires pour les deux variétés. D'autre part, la même harmonie est remarquée au cours de saisons hivernale et printanière pour quelque soit la variété.

3.5. Analyse des composantes principales ACP des paramètres mycorhiziens étudiés.

L'analyse factorielle en composante principales (ACP) exécutée sur les cinq paramètres étudiés (taux d'arbuscules, taux de vésicules et taux de mycorhizes total) a été faite selon les plans factoriels 1 et 2 (figure 8). L'examen des plans factoriels nous a permis de visualiser les corrélations entre les variables étudiés et d'identifier deux groupes homogènes ayant pris des valeurs proches sur la plus part des variables. Le groupe GI qui présente la moyenne des saisons hiver et printemps de la variété *mutica* ce qui permet de classer ce groupe comme le groupe de la variété inerme (*mutica*). Les variables de ce groupe sont corrélées positivement.



Le groupe GII qui présente la moyenne des trois mois des quatre saisons de la variété *apiculata* en plus de l'automne de la variété *mutica* et donc on peu distinguer ce groupe comme le groupe de la variété épineuse (*apiculata*) indépendamment de la saison et dont les variables sont corrélées positivement. La contribution des groupes GI et GII a permis de définir l'axe 2 comme axe des variétés avec un pourcentage élevé de 98,17% alors que la contribution pour l'axe 1 des saisons est assez faible avec un pourcentage de 1,77%.. Les variables des deux groupes définis s'opposent donc elles sont corrélées négativement et c'est conforme à la réalité puisque le groupe GI est généralement celui de la variété *mutica* et le groupe GII est celui de la variété *apiculata*.

4. Discussion

La symbiose endomycorhizienne concerne l'immense majorité des plantes de zones arides et semi-arides (Diem *et al.* 1981). Ces plantes sont confrontées à plusieurs stress dont le manque d'eau et les températures élevées qui sont parmi les facteurs limitant à la croissance de ces végétaux (Mikola, 1987). Notre étude qui a portée sur la dynamique de colonisation des racines des deux variétés d'arganier *mutica* et *apiculata* par des spores mycorhiziens du genre *Glomus* durant les quatre saisons du cycle phénologique. Cette étude a confirmé en premier lieu que les racines des deux variétés ont été affectées uniquement par des endomycorhizes à arbuscules avec absence totale des endomycorhizes à pelotons intracellulaires et des endomycorhizes à arbuscules et pelotons intracellulaires, ainsi les conditions difficiles ont montré que chez plus de 90% des plantes vasculaires, le système racinaire n'est que le résultat d'une symbiose entre la plante et un ou plusieurs champignons et cette symbiose prend plusieurs formes qui sont les ectomycorhizes, les endomycorhizes et les ectendomycorhizes (Peyronel *et al.* 1969). D'autre part, le taux d'arbuscules est généralement le double du taux de vésicules quelque soit la variété ou la saison et cela revient aux rôles différents des arbuscules et des vésicules dans les racines de la plante hôte. Ainsi, les arbuscules sont le lieu d'échange entre la plante et le champignon alors que les vésicules ne sont que des organes de stockage pour le champignon (Nouaim *et al.* 1991). La variation du taux d'arbuscules, de vésicules et de mycorhizes total chez les deux variétés a montré une forte corrélation avec la variation du cumul thermique et pluviométrique durant les quatre saisons. Ainsi, on a remarqué

une synchronisation énorme entre la variation du cumul thermique et pluviométrique d'une part et la colonisation des mycorhizes d'autre part, cela explique l'influence directe de l'état hydrique du sol sur les mycorhizes (Fisher *et al.* 1988). Ces résultats confirment les études faites sur rôle des mycorhizes dans l'alimentation hydrique des plantes et qui a montré que l'eau disponible pour la plante dans le sol dépend de la quantité de précipitations et de la proportion de l'eau infiltrée dans le sol, d'une part et de la faculté des plantes à absorber cette eau d'autre part (Nouaim et Chaussod, 1996). De plus, les conditions climatiques méditerranéennes en général sont caractérisées par des précipitations modérées, principalement hivernales, l'été étant chaud et sec. La coïncidence du maximum thermique avec la période de déficit pluviométrique entraîne un stress hydrique marqué (Floret et Rambal, 1982; Fisher *et al.* 1988) et donc des faibles réserves en eau dans le sol ce qui explique la diminution de la symbiose mycorhizienne pour les deux variétés d'arganier. Sanchez-Diaz et Honrubia (1994) ont montré que l'effet de la mycorhization sur l'alimentation hydrique d'une part et sur la résistance au stress hydrique d'autre part sont deux aspects sensiblement différents, ainsi on parle d'une interaction complexe entre l'arbre, son partenaire fongique et le potentiel hydrique du sol. En revanche, dans d'autres travaux, Sieverding (1981) a trouvé que la faible alimentation en eau chez les plantes mycorhizées augmente l'infection des racines. Il observe également une corrélation positive entre le développement des mycorhizes et l'induction de l'économie de l'eau et un effet bénéfique de la mycorhization d'autant le sol est sec. Durant tout le cycle phénologique, point de vu taux d'arbuscules ou de vésicules ou même de mycorhizes total, la variété *mutica* a présentée des taux en arbuscules deux fois plus importants que ceux de la variété *apiculata* et des taux de vésicules de trois à quatre fois plus importants que ceux de la variété *apiculata* donc les racines de la variété inerme assurent un meilleur transport d'eau vers les racines et un meilleur stockage d'éléments minéraux ce qui rend cette variété fortement plus mycorhizée que la variété épineuse. Ces résultats pourront être expliqué aussi par la grande taille des racines de la variété *mutica* qui résultent du grand volume de l'arbre entier (tronc, coiffe, branches, rameaux) par rapport à la taille des pieds de la variété épineuse. Donc il est logique de dire que la variété la plus mycorhizée possède la biomasse la plus importante en comparaison avec la variété dont les racines sont moins colonisées par les mycorhizes (Nouaim et Chaussod, 2002). Cela explique que la croissance la plus importante de la variété inerme et la meilleure efficacité de son système racinaire, sont à l'origine de l'exploitation des ressources en eau en profondeur pour le prélèvement du maximum d'eau dans le milieu. Les faibles taux de colonisation, sous un stress hydrique naturel, des racines pendant les saisons caractérisées par un faible cumul pluviométrique (automne et été) pour les deux variétés (ACP) ont été confirmé par les résultats trouvés dans d'autres travaux. D'autres auteurs ont montré que le stress hydrique réduit le taux de mycorhization. On sait que l'application d'un stress hydrique induit dans les racines la synthèse d'acide abscissique qui va provoquer la fermeture des stomates et réduire la photosynthèse. Il y en résulte une diminution du taux de mycorhization car le champignon utilise pour son développement des substrats carbonés que lui procure la plante grâce à la photosynthèse. Aussi, Guissou *et al.* (2001) ont montré que l'inoculation avec *G. aggregatum* stimule la croissance et la nutrition minérale de quatre arbres fruitiers mais pas en situation de stress hydrique. Il est en revanche assez surprenant de remarquer que l'application de la contrainte hydrique n'affecte pas le taux de mycorhization des arbres fruitiers avec *G. aggregatum* ce qui est en accord avec les résultats obtenus par Bryla et Duniway 1997. Plusieurs auteurs ont évoqué l'intérêt potentiel de la mycorhization contrôlée pour la sylviculture (Oihabi A et Meddich A, (1996) ; Hatimi *et al.* 1997). Des améliorations importantes dans le taux de reprise ont été obtenues lors de la plantation, dans des milieux très défavorables, de nombreuses espèces forestières comme le châtaignier (Strullu *et al.* 1986) et le chêne (Boutekrabort *et al.* 1990). Donc, l'apport de symbiotes fongiques améliore l'assimilation de l'eau et des éléments nutritifs par les plants et contribue en conséquence, à une amélioration de leur taux de croissance dans les conditions naturelles (Nouaim, 1994).

5. Conclusion

Après l'étude approfondie de la dynamique des mycorhizes sur les deux variétés d'arganier *mutica* et *apiculata* on a constaté en premier lieu que l'arganier est un arbre qui dépend totalement des endomycorhizes à arbuscules. De plus, on a remarqué durant tout le cycle phénologique que la variété *mutica* inerme est deux à trois fois plus mycorhizée que la variété épineuse *apiculata*. Cela pourra être

expliqué par la différence de taille des racines des deux variétés d'une part et par la différence de taille d'arbres étudiées d'autre part. Les conditions climatiques et essentiellement la température et la pluviométrie agissent d'une façon directe sur le taux de colonisation des racines surtout dans les conditions de stress hydrique. Ainsi le maximum de colonisation a été observé durant les saisons humides (hiver et printemps) tandis que pendant les saisons sèches (été et automne) le taux d'arbuscules et de vésicules diminue d'une façon spectaculaire ce qui confirme le lien direct entre dynamique de mycorhizes, réserves d'eaux disponibles dans le sol et température. Il existe donc une relation étroite entre trois éléments principaux qui sont le sol, le champignon mycorhizien et l'arbre hôte.

6. références bibliographiques

- Achouri M, (1989)** Endogonaceae of Souss Massa, Morocco. PhD Thesis, university of Minnesota, USA, 121 p.
- Boutekrabt A, Chevalier G, Pargney JC et Dexheimer J, (1990)** Mycorhization par *Tuber melanosporum* Vitt de vitoplants de *Quercus robur* L et *Quercus pubescens* Willd. *Agronomie*. 2: 127-132.
- Bryla DR, Duniway JM, (1997)** Growth, phosphorus uptake, and water relations of safflower and wheat infected with an arbuscular mycorrhizal fungus. *New Phytologist* 136: 581-590.
- Díaz G et Honrubia M, (1993)** Arbuscular mycorrhizae on *Tetraclinis articulata* (Cupressaceae) : Development of mycorrhizal colonization and effect of fertilization and inoculation. *Agronomie*. 13: 267-274.
- Diem HG., Gueye I , Gianinazzi-Pearson V, Fortin JA et Dommergues YR, (1981)** Ecology of VA mycorrhizae in the tropics The semi-arid zone of Senegal. *Acta Oecologica / Oecologia Plantarum*.16: 53-62.
- EL ADIB S, Slim S et Ben Jeddi F, (2014)** Variation annuelle des paramètres éco-physiologiques de *Argania spinosa* var. *mutica* et *Argania spinosa* var. *apiculata* dans le semi-aride tunisien. *Journal of New sciences*. 6 : 1-16.
- Fisher GJ, Kang SK, Varani J, Bata-Csorgo Z, Wan Y, Datta S et al, (2002)** Mechanisms of photoaging and chronological skin aging. *Archive Dermatology*. 138: 1462-1470.
- Floret C et Rambal S, (1982)** Measurement and modelling of primary production and water use in a south Tunisian steppe. *Journal of Arid Environments*. 5: 77-90.
- Fontana A, (1985)** Vesicular arbuscular mycorrhizas of *Ginkgo biloba* L. in natural and controlled conditions. *New Phytol*. 99: 441-447.
- Guissou T, (2001)** Contribution of arbuscular mycorrhizal fungi to growth and nutrient uptake by jujube and tamarind seedlings in a phosphate (P)-deficient soil, *African Journal of Microbiology Research*. 3 (5): 297-304.
- Harrison MJ, (1999)** Interfaces and nutrient transport in plant / fungal symbioses. *Journal of Experimental Botany. Special Issues* 50: 1013-1022.
- Hatimi A, Achouri M et Oihabi A, (1997)** Endomycorhization de légumineuses fixatrices des dunes. *Sécheresse* 8(2): 99-102.
- Kormanik PP, Schultz RC & Bryan WC, (1982)** The influence of vesicular arbuscular mycorrhizae on the growth and development of eight hardwood tree species. *For Sci*. 28: 531-539
- Le Maire R, (1929)** Contributions à l'étude de la flore de l'Afrique du nord, (fascicule 14). *Bull.Soc.Hist.Nat.Afr.Nord*. 20: 12-42.
- M'Hirit O, Benzyane M, Benchekroun F, El Yousfi SM et Bendaanoun M, (1998)** L'arganier: une espèce fruitière-forestière à usages multiples. *Sprimont (Belgique: Mardaga, 1998)*.
- McGonigle TP, Miller MH, Evans DG, Fairchild GL et Swan JA, (1990)** A method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist*. 115: 495-501.
- Mikola P, (1987)** Mycorrhizae under tropical stresses. *Angew. Botanik*. 61: 15-23.
- Nouaïm R et Chaussod R, (1994)** Mycorrhizal dependency of micropropagated argan tree (*Argania spinosa*): I) Growth and biomass production. *Agrofor Syst*. 27: 53-65.
- Nouaïm R et Chaussod R, (1996)** Rôle des mycorhizes dans l'alimentation hydrique des plantes notamment des ligneux en zones arides. *Options Méditerranéennes*. 20: 9-26.
- Nouaïm R, Chaussod R, El Aboudi A, Schnabel C et Peltier JP, (1991)** L'Arganier, essai de synthèse des connaissances sur cet arbre. *Physiologie des arbres et arbustes en zones arides et semi-arides*. Groupe Paris. 373-388.
- Nouaïm R, Mangin G, Breuil MC et Chaussod R, (2001)** The argan tree (*Argania spinosa*) in Morocco: Propagation by seeds, cuttings and in-vitro techniques. *Agroforestry Systems*. 54: 71-81.
- Oihabi A et Meddich A, (1996)** Effet des mycorhizes à arbuscules (MA) sur la croissance et la composition minérale du trèfle. *Cahiers Agricultures*. 5(5): 382- 386.
- Peyronnel B, Fassi B, Fontana A et Trappe JM, (1969)** Terminology of Mycorrhizae. *Mycologia*. 61: 410-411.

- Philips JM & Hayman DS, (1970)** Improved procedures for clearing and saining parasitic and vesicular arbuscular fungi for rapid assessment of infection. *Trans Br Mycol.* 55: 158-161.
- Sánchez-Díaz M et Honrubia M, (1994)** Water relations and alleviation of drought stress in mycorrhizal plants. Dans: *Impact of arbuscula rmycorrhizas on sustainable agriculture and natural ecosystems*, Gianinazzi, S. et Schüepp, H. (éds). Birkhauser Verlag, Basel: 167-1 78.
- Sieverding E, (1981)** Influence of soil water regimes on VA Mycorrhiza. I. Effect on plant growth, water utilization and development ofmycorrhiza. *Acker, Pflanzenbau.* 150: 400-411.
- Strullu DG et Plenchette C, (1991)** Les mycorhizes en horticulture. *PHM Revue Horticole.* 352: 50-55.
- Strullu DG, (1990)** Les mycorhizes des arbres et plantes cultivées. Collection TEC & DOC, Lavoisier, Paris, 250 p.
- Strullu DG, Grellier B, Marciniak D et Letouzé R, (1986)** Micropropagation of chestnut and conditions of mycorrhizal syntheses in vitro. *New Phytol.* 102: 95-101.