

EFFET DES CHAMPIGNONS MYCORRHIZOGENES ARBUSCULAIRES INDIGENES SUR LA CROISSANCE DU BLE ET DE L'ORGE

KHIRANI Safia*, OULD EL HADJ-KHELIL Aminata
Laboratoire de Protection des Ecosystèmes en Zones Arides et Semi Arides
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Université de Ouargla, 30000 Ouragla, Algérie
E-mail; safiaraache85@gmail.com / khirani.safia@univ-ouargla.dz

(Received 11 May 2019 - Accepted 21 June 2019)

Résumé.- La présente étude porte sur la recherche des effets d'inoculation des plantules de blé et d'orge par des champignons mycorrhiziens isolés des rhizosphères de palmiers dattiers de la cuvette de Ouargla (Algérie). Les mesures biométriques des plantes de blé et d'orge ont révélé des effets bénéfiques des champignons mycorrhiziens indigènes sur la croissance des plantes inoculées avec *G. macrocarpum*, sachant que la biomasse de la partie aérienne a augmenté de 20% et celle de la partie racinaire de 30%. De plus, le nombre de feuilles passe de 10 chez les témoins à 12 feuilles en présence de *G. macrocarpum*. L'inoculation des plantes avec *A. gedanensis* a montré un effet négatif sur tous les paramètres mesurés, se traduisant par des résultats plus faibles. Concernant les caractères végétaux mesurés, des différences significatives sont relevées entre les deux cultures ($p < 0,01$). Le blé a montré la longueur de la partie aérienne la plus importante (42,6 cm) par rapport à l'orge (35,9 cm). L'observation microscopique des fragments de racines de blé et d'orge a permis de mettre en évidence l'établissement d'une association entre ces racines et les spores de CMA, confirmant ainsi la non spécificité entre la plante-hôte et le partenaire fongique.

Mots clés: Blé, orge, CMA, spores, mycorrhization, Palmier dattier, Ouargla.

EFFECT OF INDIGENOUS ARBUSCULAR MYCORRHIZOGENIC FUNGI ON THE GROWTH OF WHEAT AND BARLEY

Abstract.- The objective of our study is to investigate the effects of inoculation of wheat and barley seedlings by mycorrhizal fungi isolated from the rhizospheres of date palms in the Ouargla basin. Biometric measurements of wheat and barley plants have revealed beneficial effects of native mycorrhizal fungi on plant growth inoculated with *G. macrocarpum*. The biomass of the aerial part has increased by 20% and that of the root part of 30%. In addition, the number of leaves increased from 10 in the controls to 12 leaves in the inoculated plants with *G. macrocarpum*. On the other hand, inoculating of plants with *A. Gedanensis* showed negative effects on all parameters measured and the lowest results. There are significant differences between the two crops ($p < 0.01$), with regard to the measured plant traits. Wheat showed the most aerial part length (42.6 cm), compared to barley (35.9 cm). The microscopic observation of the fragments of wheat and barley roots showed the establishment of an association between these roots and the CMA spores, thus confirming the non-specificity between the host plant and the fungal partner.

Key words: Wheat, barley, AMF, spores, mycorrhization, dates palm, Ouargla.

Introduction

Les céréales et leurs dérivées constituent l'alimentation de base dans beaucoup de pays en développement, particulièrement dans les pays maghrébins. En Algérie, la production des céréales, jachère comprise, occupe environ 80% de la superficie agricole utile (SAU) [1]. Cependant, leur évolution est très variable avec une augmentation annuelle très faible

ne permettant pas d'assurer l'autosuffisance alimentaire des populations locales [2]. Ce faible taux de productivité annuelle est dû à l'action de plusieurs facteurs affectant la culture elle-même notamment, la dégradation du sol (fertilité), la sécheresse, les problèmes phytosanitaires surtout dans les zones arides et semi-arides. Cette déficience constitue un facteur limitant de la production des cultures [3].

Le palmier dattier est la principale espèce cultivée adaptée aux sols sahariens protégeant la végétation environnante contre l'effet de la désertification et permet de fournir un microclimat adéquat aux cultures adjacentes [4]. Il établit une association symbiotique, comme la plupart des arbres fruitiers avec des champignons mycorrhiziens arbusculaires (CMA) [5,6]. Ces derniers sont des organismes fongiques possédant des mycélium cenocytiques multinucléés qui peuvent établir des symbioses avec les racines de plus de 80% des espèces de plantes aussi bien terrestres qu'aquatiques [7]. Les CMA sont connus pour aider la plante et induire une augmentation d'alimentation en eau et en minéraux tels que le phosphore et l'azote. Cette capacité des CMA à rendre le phosphore disponible pour les plantes est cruciale du fait de la dynamique chimique du phosphore. En échange, les CMA reçoivent des métabolites carbonés nécessaires à leur développement issus de la photosynthèse [7].

L'agriculture biologique est dirigée de nos jours vers l'ajout des microorganismes du sol tels que les champignons mycorrhiziens à arbuscules (inoculum) pour un démarrage plus rapide du développement des plantes. Cette utilisation de l'inoculum mycorrhizien se traduit pour le producteur par des gains significatifs de rendements et de retour sur l'investissement, accompagnés d'une réduction substantielle des engrais et des pesticides synthétiques [8]. Plusieurs inoculum mycorrhizogènes existent, mais le choix de l'inoculum par l'agriculteur reste difficile car son efficacité varie en fonction de la culture et du type de sol [9].

Malgré l'intérêt et l'importance des CMA en Algérie, l'étude de la biodiversité de la microflore mycorrhizienne indigène reste le parent pauvre de l'écologie microbienne et la valeur agronomique relative des isolats est inconnue. Dans ce contexte, cette étude est menée pour évaluer le pouvoir mycorrhizogène des CMA indigènes isolées des palmeraies de Ouargla. Il pourrait donc être intéressant de sélectionner des souches indigènes les plus adaptées aux conditions locales pour les utiliser dans l'adaptation d'autres cultures intéressés (blé et orge) afin d'améliorer leur production dans les conditions environnementales des zones arides et semi-arides.

1.- Matériel et méthodes

1.1.- Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé pour cette étude est le blé dur (*Triticum durum Desf*) et l'orge (*Hordeum vulgare L.*) de la variété locale SAIDA. Les graines sont désinfectées à l'hypochlorite de sodium 10% pendant 10 minutes, lavées abondamment à l'eau, puis rincées à l'eau distillée. Elles sont ensuite mises à germer dans des boîtes de Pétri sur deux épaisseurs de papier filtre(Whatman) imbibé de 4ml d'eau distillée pendant 2 à 3 jours sous une température de 25°C.

1.2.- Inoculum mycorrhizien

L'inoculum fongique utilisé est constitué de trois espèces de champignons mycorrhiziennes arbusculaires; *Scutellospora nigra*, *Glomus macrocarpum* et *Acaulospora*

gedanensis. Les spores de ces espèces sont isolées de la rhizosphère des palmiers dattiers de la cuvette de Ouargla (Algérie). Ils sont extraites selon la méthode de GERDMAN (1963) [10] et TOMMERUP (1992) [11]. Les CMA sont identifiés en se basant sur des critères proposés par SCHENCK et SMITH (1982) [12] et SOUZA (2015) [13] suivant la classification de REDECKER *et al.* (2013) [14]. La sélection de ces inoculums est selon leur abondance dans leur milieu naturel. Pour la conservation des espèces avant leur utilisation, les spores de CMA sont mises dans le sable et l'eau stériles et conservées à 4°C.

1.3.- Procédures d'inoculation

Après 2 jours de germination, lorsque la longueur du coléoptile est de 2 cm, chaque plante d'orge et de blé sont inoculées par un inoculum de CMA. Les spores sont mises au contact du système racinaire à l'aide d'une micropipette à raison de 35 spores / plante.

1.4.-Gestion de la culture

Trois jours après germination, les jeunes plantes de blé et d'orge sont transférées dans des pots (18 x 15 cm) à raison de trois plants par pot contenant 2 kg de substrat de culture et aucun nutriment supplémentaire n'est ajouté au cours de l'expérience.

2.5.- Substrat de culture

Le substrat de culture provient de la rhizosphère du palmier dattier de laquelle est isolé l'inoculum mycorhize utilisé. Le sol est tamisé et stérilisé à 100°C deux fois pendant une heure de temps, à 24 h d'intervalle, pour éviter la présence de tout microorganisme.

1.6.- Dispositif expérimental

Afin de mettre en évidence l'effet des champignons mycorhiziens à arbuscules (CMA) sur la croissance des plantes de blé et d'orge, l'expérimentation est réalisée sous serre dont les conditions sont contrôlées au sein de l'exploitation agricole de l'université Kasdi Merbah-Ouargla (Algérie). Le dispositif expérimental adopté pour les deux céréales est le suivant :

- Lot 1: plantes non- inoculé (témoin) ;
- Lot 2: plantes inoculées avec *Scutellospora nigra* ;
- Lot 3: plantes inoculées avec *Glomus macrocarpum* ;
- Lot 4: plantes inoculées avec *Acaulospora gedanensis*

1.7.- Evaluation des paramètres de croissance

Pendant deux mois d'expérimentation sous serre, certains paramètres morphologiques des plantes sont mesurés tels que le nombre de feuilles, la longueur de la plante, la longueur des racines, la biomasse racinaire et la biomasse aérienne des plantes.

1.8.- Test de colonisation mycorhizienne

Après 2 mois de culture, la détermination de la colonisation des racines de blé et de l'orge par les CMA indigènes est observée au microscope sur des segments de racines préalablement colorées selon la méthode modifiée de PHILLIPS et HAYMAN (1970) [15]. Les racines sont retirées du substrat et lavées à l'eau du robinet. Les plus fines sont coupées

en fragments de 1 cm de longueur et chauffées à 90°C pendant 15 min dans une solution de KOH (10%) avec quelques gouttes d'HCl (2%) puis lavées à l'eau du robinet. Ils sont ensuite réchauffés dans le bleu de trypan (0,5%) à 90°C pendant 15 minutes. L'évaluation de l'infection racinaire est estimée par le calcul de la fréquence selon la formule de TROUVELOT *et al.* (1986) [16].

$$F (\%) = 100 (N - n_0) / N$$

N: nombre de fragments observés,

n_0 : nombre de fragments sans trace de mycorhization.

1.9.- Analyse statistique

Les résultats obtenus sont statistiquement traités par l'analyse de la variance (ANOVA) avec un critère et les comparaisons des moyennes des paramètres mesurés entre les différents traitements sont réalisées au seuil de 5% par le test HSD de Tukey à l'aide du logiciel SPSS (21)

2.- Résultats et Discussions

2.1.- Colonisation mycorhizienne

L'observation microscopique des racines des jeunes plantes de blé et d'orge inoculées par trois CMA met en évidence la colonisation de toutes les racines par les CMA indigènes et une forte réceptivité entre ces racines et les espèces utilisées, entraînant la pénétration des mycéliums dans le cortex racinaire pendant la germination (fig.1).

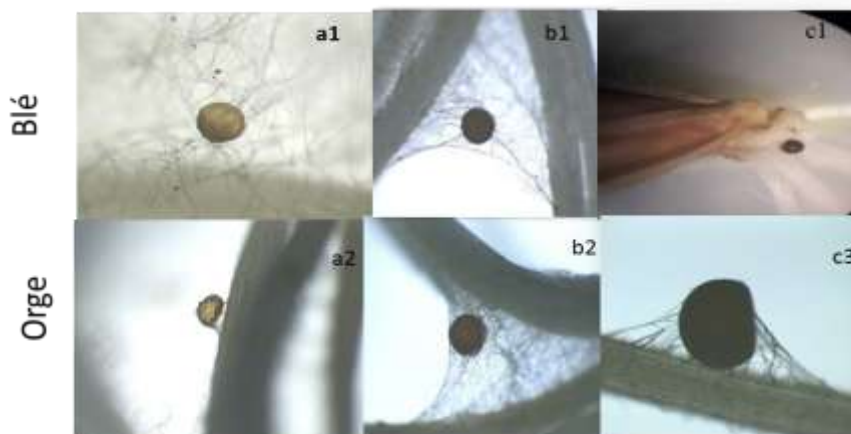


Figure 1.- Capacité des spores des trois espèces de CMA à mycorhizer les racines de blé et d'orge ($\times 400$) (a1: plante de blé inoculé par *G. macrocarpum*, b1: plante de blé inoculé par *A. gedanensis*, c1: plante de blé inoculé par *S. nigra*, a2: plante d'orge inoculé par *G. macrocarpum*, b2: plante d'orge inoculé par *A. gedanensis*, c2: plante d'orge inoculé par *S. nigra*)

La colonisation réussie des racines de la plante de blé et d'orge par les CMA isolés de la rhizosphère du palmier dattier confirme l'absence de spécificité entre la plante hôte et le partenaire fongique [17]. Un champignon endomycorhizien peut donc s'associer à plusieurs plantes et la même plante peut être infectée par plusieurs espèces de CMA [18]. De nombreux résultats montrent l'intérêt de l'inoculation précoce de la plante par des

souches fongiques [19]. En effet, lorsqu'elle est effectuée à la germination, avant le repiquage, elle permet de réduire le taux d'échec de la mycorhization et d'assurer un bon contact de l'inoculum avec la racicelle.

De plus, selon HADJ YUCEF *et al.* (2009) [20], le taux élevé de mycorhization des plantes au stade précoce (tallage) permet d'optimiser l'acquisition du phosphore pour les racines dans les sols pauvres ou calcaires.

La variété Saida est une variété xérophyte qui, grâce à ses différents mécanismes d'adaptation, parvient à se protéger du manque d'eau. Cette variété utilise la symbiose mycorhizienne comme arme de départ au stade du tallage pour faire face à d'éventuelles contraintes d'eau avant même qu'elles ne s'installent [21].

2.2.- Impact de l'inoculum de CMA sur la croissance

2.2.1.- Nombre de feuilles

Pendant les premières semaines de culture, le nombre moyen de feuilles des plantes de blé évolue pour atteindre 8 à la quatrième semaine et ce, pour tous les traitements. De la sixième à la huitième semaine, l'inoculât *Glomus macrocarpum* permet d'obtenir des plantes dont le nombre de feuilles varie entre 10 et 12 feuilles respectivement. Les spores d'*A. gedanensis* ont permis d'obtenir des plantes de blé dont le nombre de feuilles a atteint 11 à la fin de l'expérimentation (fig. 2).

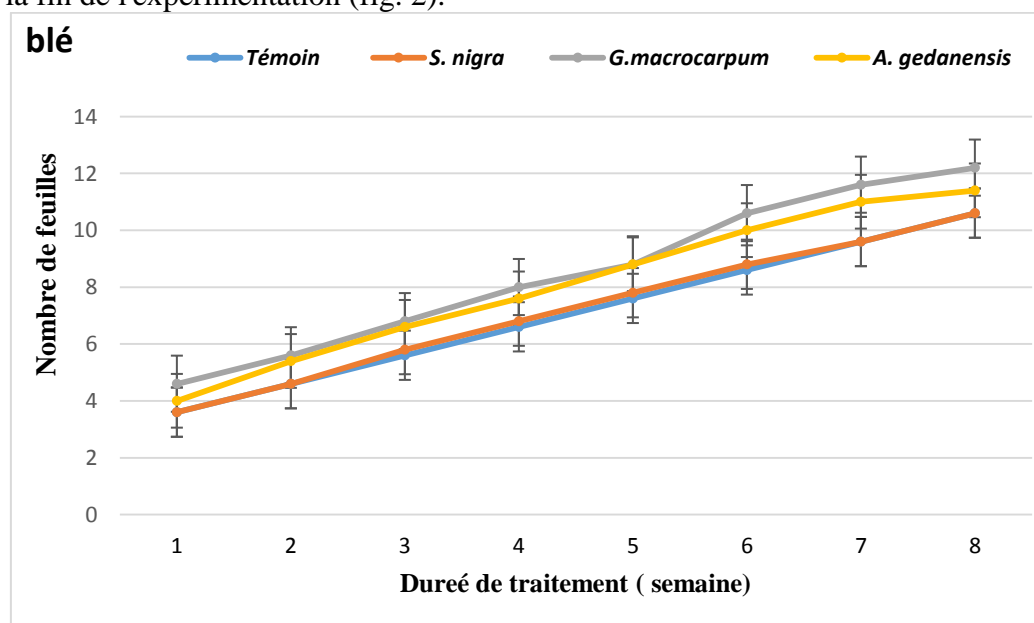


Figure 2.- Effet de l'inoculation du blé sur le nombre de feuilles

L'inoculation de l'orge par des spores de *G. macrocarpum* conduit à l'obtention de plantes ayant le nombre de feuilles le plus élevé de 12. Les plantes inoculées par les spores de *Scutellospora nigra* et *Acaulospora gedanensis* n'ont pas dépassé 10 feuilles à la fin de l'expérimentation (fig. 3). Aucune différence significative n'est relevée pour le paramètre nombre de feuilles ($f = 0,805$, $p > 0,05$).

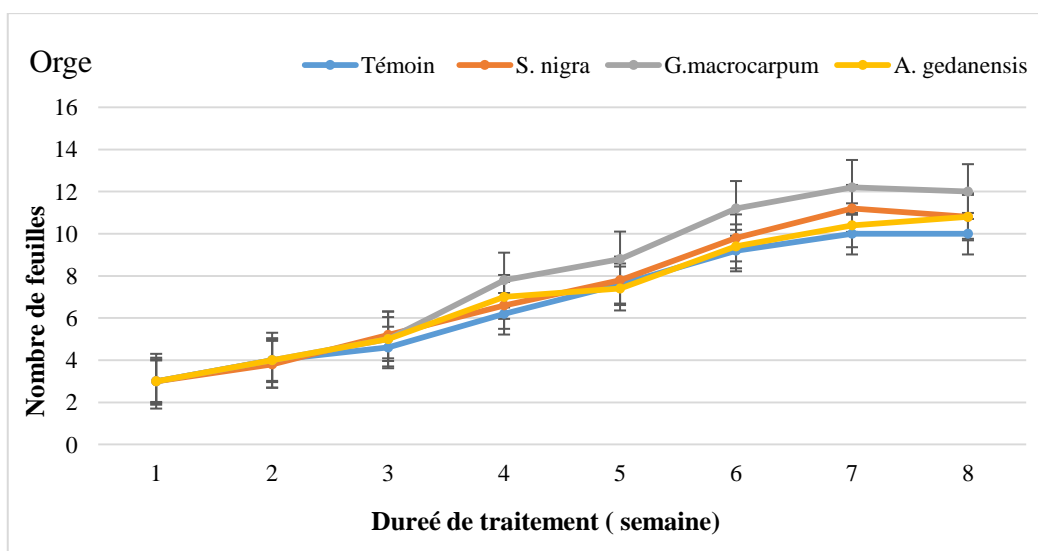


Figure 3.– Effet de l'inoculation de l'orge sur le nombre de feuilles

2.2.2.- Longueur des plantes

Pendant les huit semaines d'expérimentation, *G. macrocarpum* est le morphotype qui a conduit à l'amélioration de la longueur des plantes de blé (42,6 cm). Les deux autres morphotypes, *S. nigra* (32cm) et *A. gedanensis* (29cm) ne semblent pas affecter la longueur des plantes auxquelles ils sont associés (fig. 4).

Il n'y a pas de différences significatives entre les différents traitements appliqués ($p > 0,05$).

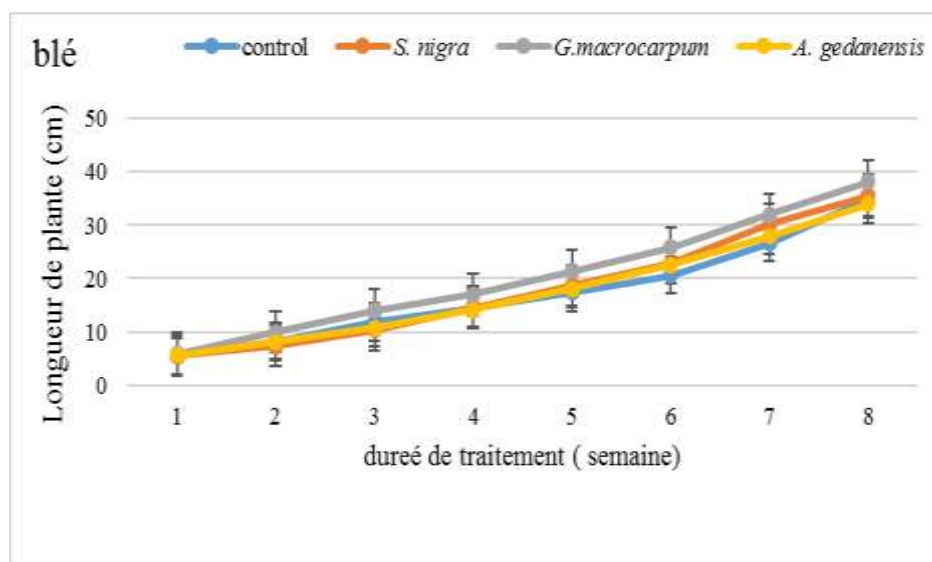


Figure 4.- Effet de l'inoculation du blé sur la longueur des plantes

A la huitième semaine, la longueur des plantes d'orge inoculées par *Glomus macrocarpum* est la plus importante comparée à celle des plantes inoculées par *Scutellospora nigra* et *Acaulospora gedanensis*. Leurs valeurs sont de 41,33 cm, 32,50 cm et 26,83 cm respectivement (fig. 5).

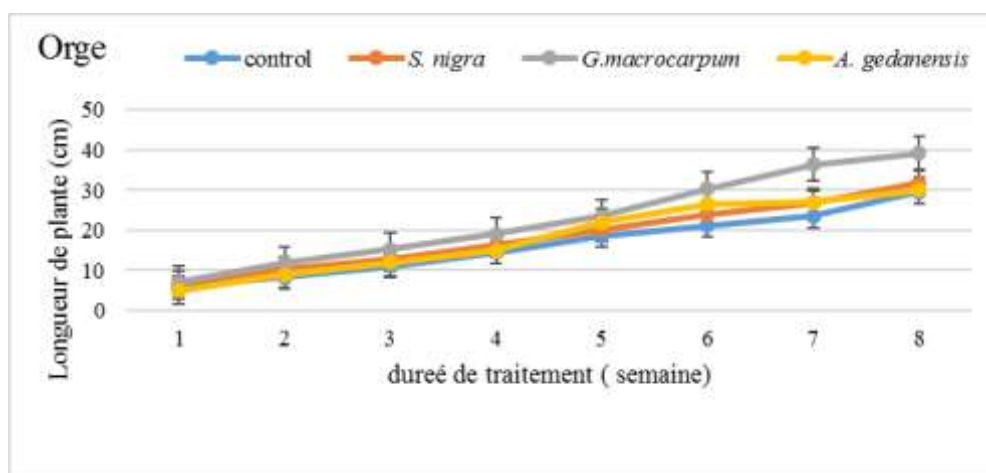


Figure 5.- Effet de l'inoculation de l'orge sur la longueur des plantes

2.2.3.- Longueur des racines

Après deux mois de croissance, les résultats obtenus montrent que la longueur de la partie racinaire des plants du blé inoculés par *G. macrocarpum* est la plus importante par rapport à celle des plants inoculés par *S. nigra* et *A. gedanensis*. Les valeurs rapportées sont de $31,83 \pm 1,6$ cm, $22,83 \pm 1,16$ cm et $22,33 \pm 1,75$ cm respectivement (fig. 6).

Pour les lots des plants d'orge, l'inoculation par *G. macrocarpum* améliore plus la croissance des racines comparativement aux autres espèces, soit une longueur des racinaire de $30,5 \pm 1,51$ cm, alors qu'elle est de $21,83 \pm 1,6$ cm pour espèce *S. nigra* et de $20,83 \pm 2,22$ cm pour *A. gedanensis*.

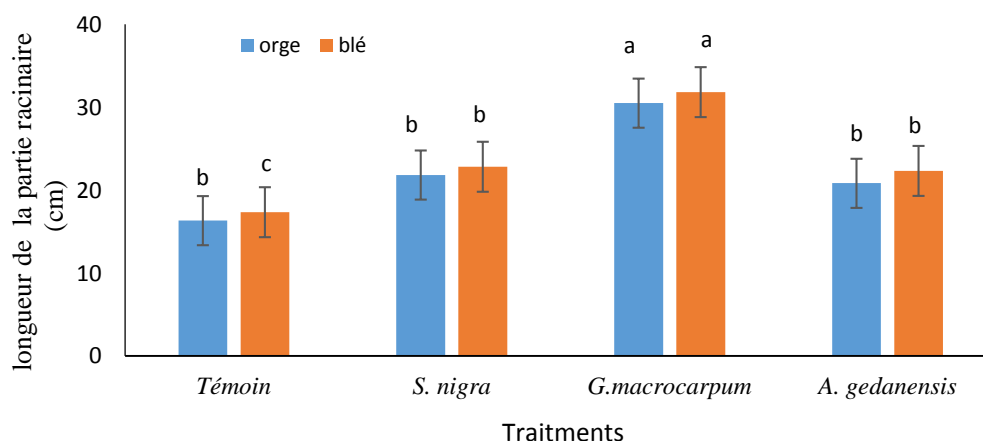


Figure 6.- Effet de l'inoculation par des spores de CMA sur la croissance racinaire des plants du blé et d'orge

2.3.- Impact des CMA sur la biomasse végétale

Le tableau I rapporte la production de biomasse du blé et de l'orge inoculés par différents espèces de CMA. L'inoculation des plants de blé et d'orge par *G. macrocarpum* a marqué un effet positif sur tous les paramètres mesurés soit le poids frais et sec de la partie aérienne et souterraine.

Les poids sec de la partie aérienne et racinaire des plantes de blé et d'orge inoculés par *G. macrocarpum* sont plus importants que ceux des deux autres espèces dont *S. nigra* et *A. gedanensis*. Une nette amélioration de la biomasse sèche de la partie aérienne des plants du blé et d'orge inoculés par *G. macrocarpum* est notée. Elle est de $0,57 \pm 0,03$ g et $0,47 \pm 0,26$ g respectivement.

L'inoculation des plants de deux espèces par *G. macrocarpum* améliore également la biomasse sèche de la partie racinaire qui est de 0,11 g chez le blé et de 0,12 g chez l'orge (tab I).

Suite aux résultats obtenus, la production de la biomasse de blé et d'orge est notablement affectée par effet des traitements appliqués; une différence significative ($p < 0,001$) est notée.

Tableau I.- Effets de l'inoculation par les CMA sur la production de la biomasse du blé et de l'orge

		Poids frais partie aérienne (g)	Poids sec partie aérienne (g)	Poids frais partie racinaire (g)	Poids sec partie racinaire (g)
Orge	Témoin	$0,50 \pm 0,22^b$	$0,3 \pm 0,16^{ab}$	$0,09 \pm 0,08^b$	$0,04 \pm 0,01^b$
	<i>S. nigra</i>	$0,65 \pm 0,16^b$	$0,22 \pm 0,09^{ab}$	$0,12 \pm 0,04^b$	$0,07 \pm 0,02^{ab}$
	<i>G. macrocarpum</i>	$1,01 \pm 0,2^a$	$0,47 \pm 0,26^a$	$0,196 \pm 0,04^a$	$0,12 \pm 0,03^a$
	<i>A. gedanensis</i>	$0,51 \pm 0,11^b$	$0,51 \pm 0,11^b$	$0,10 \pm 0,01^b$	$0,05 \pm 0,02^b$
	<i>p- valeur</i>	0,11	0,014	0,001	0,002
	F	10,5 ^{ns}	4,55 [*]	7,59 ^{**}	7,36 ^{**}
Blé	Témion	$0,79 \pm 0,15^{ab}$	$0,26 \pm 0,09^{ab}$	$0,1 \pm 0,03^b$	$0,05 \pm 0,02^b$
	<i>S. nigra</i>	$0,56 \pm 0,015^b$	$0,25 \pm 0,07^{ab}$	$0,13 \pm 0,04^b$	$0,053 \pm 0,01^b$
	<i>G. macrocarpum</i>	$1,05 \pm 0,22^a$	$0,57 \pm 0,03^a$	$0,21 \pm 0,06^a$	$0,11 \pm 0,03^a$
	<i>A. gedanensis</i>	$0,53 \pm 0,13^b$	$0,16 \pm 0,07^b$	$0,10 \pm 0,03^b$	$0,06 \pm 0,01^b$
	<i>p- valeur</i>	0,015	0,001	0,001	0,001
	F	11,92 [*]	4,83 ^{**}	7,91 ^{**}	11,10 ^{**}

Les avantages des associations mycorhiziennes pour de nombreuses espèces végétales sont déjà documentés [22-24]. L'inoculation des CMA favorise la croissance végétative par divers mécanismes, dont par l'amélioration de la nutrition des plantes traitées en augmentant l'acquisition de nutriments grâce à l'activité des hyphes des champignons mycorhiziens [7,25].

La meilleure croissance des plantes de blé et d'orge dans tous les paramètres étudiés (biomasse, longueur, poids frais et sec) est obtenue chez les plants inoculés par *G. macrocarpum*. De nombreux auteurs ont signalé les effets positifs d'inoculation des plantes par nombreuses espèces du genre *Glomus*. Ils ont été utilisés comme inoculum approprié pour résoudre de nombreux problèmes des céréales, tels que la bio-fertilisation [26], améliorer la tolérance au stress salin et déficit hydrique [27] et promouvoir la défense systémique de blé contre les agents pathogènes dont *Blumeria graminis f. sp* responsable de l'oïdium chez le blé [28].

VOETS et DECLERCK (2006) [29] ont rapporté que le genre *Glomus* est dominant dans la plupart des écosystèmes perturbés et certaines familles tels que les Acaulosporaceae et les Gigasporaceae, sont souvent plus abondantes dans les communautés non perturbées [30].

La faible efficacité des souches de *S. nigra* et *A. gedanensis* testées séparément sur la croissance pourrait s'expliquer par le fait que les CMA présentent des effets plus efficaces sur l'amélioration de la croissance des plantes chez plusieurs cultures lorsqu'ils sont en consortiums indigènes par rapport à l'inoculum contenant une seule espèce de CMA [31-33].

Généralement, en groupe allo-spécifique, les CMA montrent des comportements variables. Ils engendrent des effets positifs sur la croissance des plants des différentes espèces végétales testées [33-35]. Cette amélioration de croissance émane en partie d'une augmentation du taux de la photosynthèse ou bien à une amélioration de l'acquisition d'eau et des nutriments due à l'activité des mycorhizes, qui agissent comme une extension des racines [7,36,37].

De plus, la présence des CMA dans le même milieu indique l'existence d'un phénomène de synergie entre les espèces formant ce complexe CMA; leur activité symbiotique varie en fonction de la composition en espèces et de la spécificité fonctionnelle de chaque souche qui peut être spécialisée pour une fonction donnée ou être généraliste [38].

2.4.- Mise en évidence de la colonisation mycorhizienne

À la fin de l'expérimentation, les racines de toutes les plantules d'orge et de blé inoculées par des mycorhizes de type CMA ont été colonisées par ces champignons. La présence de vésicules est ainsi observée l'intérieur de cellules des plantes (fig. 6).

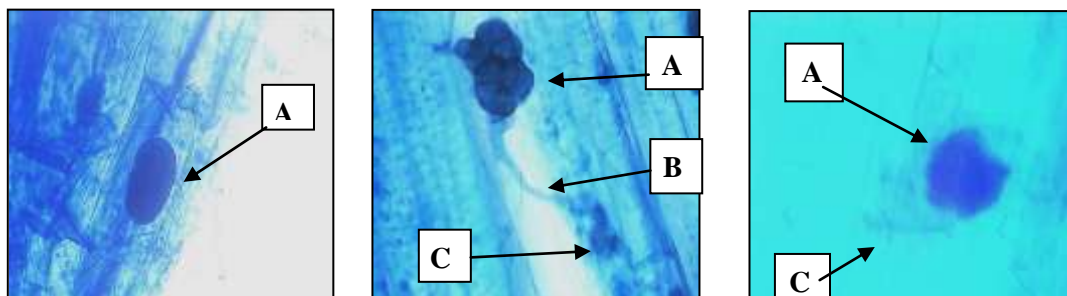


Figure 6.- Observation microscopique intra-matrice d'hyphes, vésicule et arbuscule de CMA au niveau des fragments de racines inoculés (x40) (A: vésicule, B: hyphe intracellulaire, C: arbuscule)

La fréquence mycorhizienne du blé et de l'orge varie selon les traitements appliqués. Les plants inoculés par *G. macrocarpum* ont la fréquence mycorhizienne la plus élevée. Elle est de 94% pour le blé et 88% pour l'orge. Pour les plants inoculés par *S. nigra*, une fréquence de 55,6% pour le blé et 49% pour l'orge est rapportée. La fréquence de colonisation la plus faible est enregistrée chez les plantules inoculées par *A. gedanensis*. Elle est de 42% pour l'orge et de 43% pour le blé (fig. 7).

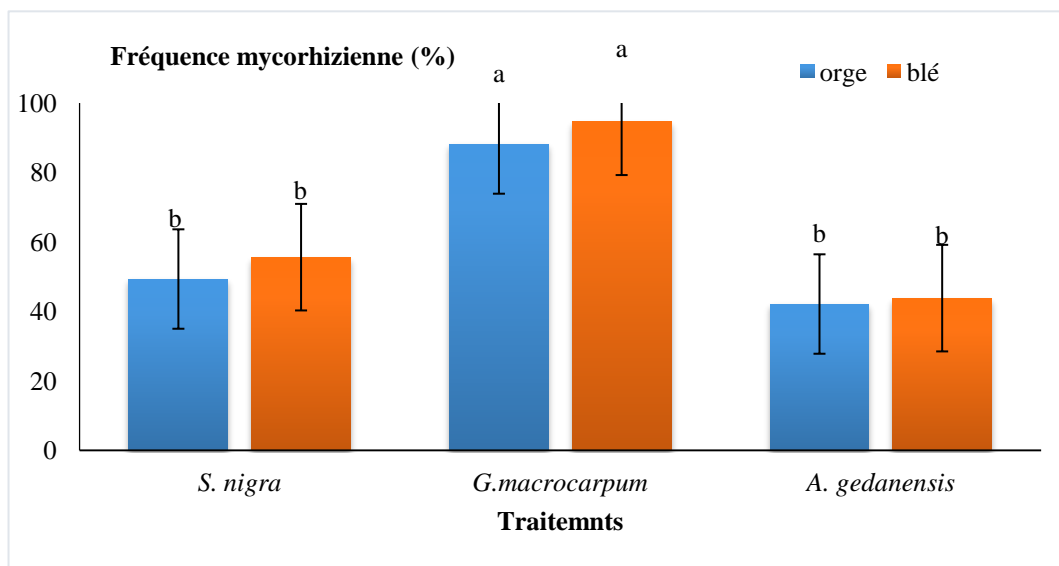


Figure 7.- Fréquence mycorhizienne des plantes d'orge et de blé

Les champignons mycorhiziens arbusculaires ont montré des performances optimales et un potentiel infectieux plus élevé lorsque les conditions expérimentales sont proches des conditions environnementales des souches de CMA [36]. De même, Il est préférable d'en tenir compte lors de «l'adaptation» d'un inoculum à un type particulier de sol, afin d'éviter l'échec du processus d'inoculation par les CMA [39,40].

La différence de réponse du blé et de l'orge à l'inoculation suggère que la mycorhization est non seulement en fonction de l'espèce de champignon Mycorhizien présent dans le sol sous forme de propagules (des spores, de mycélium et des fragments de racines colonisées), mais également de la capacité des plantes hôte à porter les mycorhizes sur ses racines [41].

Conclusion

Les évaluations des potentiels des trois inoculas de champignons mycorhiziens arbusculaires isolés des rhizosphères des palmeraies de la région de Ouargla sur la croissance et le développement du blé et de l'orge, laissent apparaître que parmi les trois espèces de CMA choisies, l'inoculation des plantules de blé et d'orge par *G. macrocarpum* permet une meilleure amélioration de la croissance des deux céréales. L'aptitude à la mycorhization est rendue plus facile par l'inoculation des graines dès la mise à germination (*in vitro*) pour réduire le taux d'échec de la mycorhization et garantir le bon contact de l'inoculum avec la radicule.

Références bibliographiques

- [1].- Djermoun A., 2009.- La production céréalière en Algérie; les principales caractéristiques. Revue Nature et Technologie; Pp 45- 53.
- [2].- Duponnois R., Hafidi M, Wahbi S., Sanon A., Galiana A., Baudoin E., 2012.- La symbiose mycorhizienne et la fertilité des sols dans les zones arides, Un outil biologique sous-exploité dans la gestion des terres de la zone sahélo- saharienne. à La Grande Muraille Verte, Pp 349-367

- [3].- Halilat M. T., 1998.- Etude expérimentale de sable additionne d'argile. Comportement physique et organisation en condition salines et sodique. Thèse. doct, I.N.A.P-G, Paris, 206p.
- [4].- Bouguedoura N, Bennaceur M., Benkhalifa A., 2010.- Le palmier dattier en Algérie ; Situation, contraintes et apports de la recherche. In Biotechnologie du palmier dattier. Ed IRD, Montpellier, France, Pp 15–22.
- [5].- Khaliel A. S., Abou-Heilah A. N., 1985.-Formation of vesicular-arbuscular mycorrhizae in Phoenix dactylifera L., cultivated in Qassim region,Saudi Arabia. Pakistan J. Bot. 17: 267-270.
- [6].- Oihabi A., 1991.- Étude des endomycorhizes à vésicules et arbuscules sur le Bayoud et la nutrition du palmier dattier. Thèse de doctorat d'État, Marrakech, Maroc, 117p.
- [7].- Smith, S. E., Read. D. J., 2008.- Mineral nutrition, toxic element accumulation and water relations of arbuscular mycorrhize al plants. Academic Press In: Mycorrhizal Symbiosis, London, Pp18-145.
- [8].- Fortin CP, André J. et Yves Piché 2008.-Les mycorhizes. La nouvelle révolution verte. Multi Monde Quae. (Eds.), Québec, 131p.
- [9].- Olivier E. O., 2014.- Caractérisation d'une collection de variétés anciennes de blé pour leur réponse à la mycorhization et impact sur la qualité du grain. Sciences agricoles Thèse. doct., Université de Bourgogne, 50p.
- [10].- Gerdman JW., 1963.- Spores d'espèces endogones du sol par tamisage humide et décantation, Trans. Br. Mycol. Soc. 46p.
- [11].- Tommerup IC., 1992.-Méthodes pour l'étude de la biologie de la population des champignons mycorrhiziens vésiculaires-arbusculaires», *Methods Microbiol.*, vol. 24: 23–51.
- [12].- Schenck GS, Smith NC., 1982.- Espèces supplémentaires nouvelles et non déclarées de champignons mycorrhiziens (Endogonaceae), de Floride. Mycol. Reprod. avec Permis. De Le Mycol. Soc. Un m, 77 (4): 566-574.
- [13].- Souza T., 2015.- Handbook of Arbuscular Mycorrhizal Fungi, Departament of Soil Federal University of Paraiba, UFPB Esperança, PB , Paraíba , Brazil,43-63p.
- [14].- Redecker D., Schüßler A., Stockinger H., Stürmer S. L., Morton J..B., Walker C., 2013.- Un consensus basé sur des preuves pour la classification des champignons mycorrhiziens arbusculaires (Glomeromycota). Mycorrhize; 23 (7): 515–531.
- [15].- Phillips J. M. et Hayman D. S., 1970.- Improved procedures for clearing and staining parasitic and arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. Transactions of the British Mycological Society, Volume 55: 18-29.

- [16].- Trouvelot. A, Kough J., Gianianazzi-pearson V., 1986.- Mesure du taux de mycorhization VA d'un système racinaire. Recherche de méthodes d'estimation ayant une signification fonctionnelle. In: physiology and genetics aspects of mycorrhizae 1st ESM, INRA Press, Paris, Pp 217-221.
- [17].- Mosse B., 1981.- Advances in the study of vesicular-arbuscular mycorrhiza. Annu. Rev, Phytopathol. 11: 171-96.
- [18].- Akiyama, K., 2007.- Chemical identification and functional analysis of Apocarotenoids involved in the development of arbuscular mycorrhizal symbiosis. Bioscience Biotechnology and Biochemistry, 71 (6): 1405-1414.
- [19].- Hadj Youcef Taibi H., Saadoun N., Dihia1 H., 2016.- Quantification précoce des capacités symbiotiques racinaires de quatre variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf) et deux variétés d'orge (*Hordeum vulgare* L.) conduites en zone semi-aride des hautes plaines de l'Ouest algérien, *Revue Agriculture*, 12: 73 – 85.
- [20].- Hadj youcef Taibi H., 2009.- Contribution à l'étude de la tolérance à la sécheresse de quelques variétés d'orge (*Hordeum vulgare* L.) et de blé dur (*Triticum durum* Desf.) en évaluant leur capacité mycorrhizogène sur des sols de la région humide du nord et de la région semi aride de la plaine intérieure de l'Algérie. Communication in meeting de Djerba Tunisie, Décembre 2009 sur la Gestion et la valorisation des ressources et applications biotechnologiques dans les agrosystèmes arides et sahariens.
- [21].- Fernandez J., 1992.- Effective selection criteria for assessing stress tolerance; In Kuo, C.G.(Ed.), Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress, Publication, Tainan, Taiwan, Pp 115-121.
- [22].- Kormanik P. P., Bryan W. C., Schultz R. C., 1982.- L'influence des mycorhizes vésiculaires-arbusculaires sur la croissance et le développement de huit espèces d'arbres feuillus *Forest Sci.*, 28 (3) : 531 – 539.
- [23].- Mason P., Ibrahim K., Ingleby K., Munro RC., Wilson J., 2000.- Développement mycorrhizien et croissance de semis d' *Eucalyptus globulus* (Labill.) Inoculés dans des conditions humides et sèches en serre *Forest Ecol. Gérer.*, 128: 269–277.
- [24].- AzcónAguiar C., Palenzuela J., Roldán A., Bautista S., Vallejo R., Barea JM., 2003.- Analyse du potentiel mycorrhizien dans la rhizosphère d'espèces végétales représentatives des arbustes méditerranéens menacés par la désertification *Appl. Soil Ecol.*, 22: 29 – 37.
- [25].- Quiñones-Aguilar EE., López-Pérez L., Rincón-Enríquez G., 2014.- Dynamique de croissance de la papaye due à l'inoculation mycorrhizienne et à la fertilisation au phosphore. *Chapingo Magazine Horticulture Series* 20: 223-237.
- [26].- Lisette J. C. X., Germida James J., 1998.- Response of spring wheat cultivars to *Glomus clarum* nt4 in a p-deficient soil containing arbuscular mycorrhizal fungi. *Canadian journal of soil science, Canadian Journal of Soil Science.* 78(3): 481-484.

- [27].- Meddich A, Oihabi A., Abbas Y ., Bizid E., 2000.- Rôle des champignons mycorrhiziens à arbuscules de zones arides dans la résistance du trèfle (*Trifolium alexandrinum* L.) au déficit hydrique. *Agronomie*, EDP Sciences, 20 (3) : 283-295.
- [28].- Mustafa G., Tisserant B., Randoux B., Fontaine J., Lounès-Hadj Sahraoui A., Reignault Ph., 2015.- Protection du blé contre l'oidium par des champignons mycorrhiziens à arbuscules; mécanismes et optimisation. *Phytopathologie et phytopharmacie*. Université du Littoral Côte d'Opale, Français, 40p.
- [29].- Voets L I.E., Declerck S., 2006. - Glomeraceae and Gigasporaceae differ in their ability to form hyphal networks. *New Phytologist*, Pp185-188.
- [30].- Daniell T. J., Husband R., Fitter A. H. et Young J. P. W., 2001.- Molecular diversity of arbuscul mycorrhizal fungi colonising arable crops: *FEMS Microbiology Ecology*, 36: 203–209.
- [31].- Trejo, D., Ferrera-Cerrato, D., García, R., Varela, L., Lara, L., Alarcón A., 2011.- Effectiveness of native arbuscular mycorrhizal fungi consortia on coffee plants under greenhouse and field conditions. *Revista Chilena de Historia Natural*, 84: 23-31.
- [32].- Carreón-Abud, Y., Vega-Fraga, M., Gavito, M. E., 2015.- Interaction of arbuscular mycorrhizal inoculants and chicken manure in avocado rootstock production. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 15 (4): 867- 881.
- [33].- Quiñones-Aguilar E., Montoya-Martínez A. C., Rincón-Enriquez G., Lobit Ph., López-Pérez L., 2016.- Effectiveness of native arbuscular mycorrhizal consortia on the growth of *Agave inaequidens*, *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 16 (4): 1052-1064.
- [34].- Ruiz S., Adriano L., Ovando I., Navarro C., Salvador M., 2011.- Biofertilisation de l'agave tequilana micropropagé: effet sur la croissance des plantes et la production d'enzymes hydrolytiques. *Journal africain de biotechnologie* 10: 9623-9630
- [35].- Trinidad-Cruz J. R., Quiñones-Aguilar E. E., Rincón-Enriquez G., LópezPérez L., Hernández-Cuevas L. V., 2017.- Mycorrhization of *Agave cupreata*: biocontrol of *Fusarium oxysporum* and plant growth promotion. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 35: 151-169
- [36].- Antunes P. M., Koch A. M., Morton J. B., Rillig M. C. et Klironomos J. N., 2011.- Preuve de la divergence fonctionnelle chez les champignons mycorrhiziens arbusculaires d'origine climatique contrastée. *New Phytologist*, 189: 507 – 514
- [37].- Fernández-Lizarazo J. C., Moreno-Fonseca L. P., 2016.- Mécanismes de tolérance au stress hydrique chez les plantes inoculées avec des champignons mycorrhiziens arbusculaires. *Une critique. Agronomie colombienne*, 34: 179-189.
- [38].- Ngonkeu M. E.L., Nwaga D., Adamou S., Fokom R., Tchameni N.S., Onguene N.A., Nana W. L., Chaintreuil C., The C., Amougou A., Moulin L., Prin Y., Lebrun

- M., Dreyfus B., 2013.- Diversité des champignons mycorhiziens arbusculaires du Cameroun. Des Champignons Symbiotiques Contre La Desertif., Pp 141–154.
- [39].- Vosátka M., Rydlová J., Malcová R.,1999.- Microbial inoculations of plants for revegetation of disturbed soils in degraded ecosystems, in *Nature and Culture Landscape Ecology*, ed Kovar P. (Prague: The Karolinum Press;), Pp 303–317
- [40].- Oliveira R. S., Vosátka M., Dodd J. C., Castro P. M. L., 2005.- Studies on the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi and the efficacy of two native isolates in a highly alkaline anthropogenic sediment. *Mycorrhiza?* 16: 23–31.
- [41].- Plenchette C., Perrin R., Duvert P., 1989.- The concept of soil infectivity and a method for its determination as applied to Endomycorrhizas. *Canadian Journal of Botany*, 67(1): 112-115.