

Etat de la biodiversité des spores de la rhizosphère et les paramètres de mycorhization du mil en fonction des stades phénologiques et selon les pratiques culturales

Abdoul Razack Harouna Maidoukia¹, Dahiratou Ibrahim Doka¹, Mamadou Aissa Jazy², Gaston Sangaré³, and Moussa Barage⁴

¹Laboratoire de mycologie, Ecole Normale Supérieure, Université Abdou Moumouni de Niamey, Niger

²Service de Botanique-Pharmacognosie, Faculté des sciences de la santé, Université Abdou Moumouni de Niamey, Niger

³International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT), Niamey, BP12404, Niamey, Niger

⁴Faculté d'agronomie, Université Abdou Moumouni de Niamey, Niger

Copyright © 2020 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Soil microorganisms actively colonize plant roots while increasing their growth and yield. The aim of the work is to characterize arbuscular mycorrhizal fungi resulting from soil fertility management practices and their variation according to the phenological stages of millet. Samples of the soil and rootlets were taken during the tillage, run and seed stages. Morphological characterization of arbuscular mycorrhizal fungal spores and study of mycorrhizal parameters revealed that *Glomus* and *Gigaspora* are the two genera of spores resulting from soil fertility management practices. Observation with a binocular magnifying glass showed hyphae, vesicles and the presence of arbuscules on some roots. The density of the two genera of spores identified varied according to the treatments. Mulch (61, 37) has the highest average density of spores. The frequency of mycorrhization reached 100% in all treatments. For the intensity of mycorrhization, mulching also recorded the highest rate (61.06). Regarding the phenological stages, the number of spores collected at the tillering stage was more abundant with a total density of (47.72). The intensity of mycorrhization of the root cortex as well as that of the arbuscular content are also greater at the tillering stage (70.53% M and 31.19% A). The tillering stage is the phenological stage that most favors the development of AMCs and mycorrhizal symbiotic activity at the level of soil fertility management practices implemented by farmers in the W park area.

KEYWORDS: Soil fertility, mycorrhizae, millet, yield, spore, tillering, shoot, set.

RESUME: Les microorganismes du sol colonisent activement les racines des plantes tout en augmentant leur croissance et leur rendement. Le but du travail vise à caractériser les champignons à mycorhize arbusculaire issus des pratiques de gestion de la fertilité du sol et leur variation en fonction des stades phénologiques du mil. Des prélèvements d'échantillons de sol et de radicelles ont été faits pendant les stades tallages, montaisons et grenaisons. La caractérisation morphologique des spores de champignons à mycorhizes arbusculaires et l'étude des paramètres de mycorhizations ont révélé que *Glomus* et *Gigaspora* sont les deux genres de spores issus des pratiques de gestion de la fertilité du sol. L'observation à la loupe binoculaire a montré des hyphes, des vésicules et la présence d'arbuscules sur certaines racines. La densité des deux genres de spores identifiée a varié selon les traitements. Le paillage (61, 37) présente la plus forte densité moyenne de spores. La fréquence de mycorhization a atteint 100 % au niveau de tous les traitements. Pour l'intensité de mycorhization, le paillage a également enregistré le taux le plus important (61,06). En ce qui concerne les stades phénologiques, le nombre de spores récoltées au stade tallage a été plus abondant avec une densité totale de (47,72). L'intensité de mycorhization du cortex racinaire ainsi que celui de la teneur en arbuscules sont également plus importantes au stade tallage (70,53 % M et 31,19 % de A). Le stade tallage est le stade phénologique qui favorise le plus un développement des CMA et une activité symbiotique mycorhizienne au niveau des pratiques de gestion de la fertilité du sol mis en place par les paysans de la zone du parc W.

MOTS-CLEFS: Fertilité du sol, mycorhize, mil, rendement, spore, tallage, montaison, grenaison.

1 INTRODUCTION

Au Niger la forte croissance de la population a entraîné une pression considérable sur les terres. Elle a bouleversé les systèmes traditionnels basés sur l'alternance culture-jachère par expansion des années de culture suite à l'exploitation de terres marginales (FAO, 2018). En conséquence, elles ont subi une dégradation importante de leur fertilité qui a affecté la baisse des rendements des cultures. La fertilité et la productivité des sols sont hautement liées à l'activité biologique du sol, d'autant plus que les fertilisants sont rarement utilisés par la plus grande partie des paysans (Zézé *et al.*, 2007). L'application de fumure organique permet de protéger mécaniquement la surface du sol pendant les premiers mois de la saison culturale, lorsque le sol est peu couvert par la culture, et de piéger les sables éoliens durant les tempêtes (Rouw et Rajot, 2004). Le développement des cultures dépend des interactions qu'elles entretiennent avec les microorganismes du sol. C'est le cas des mycorhizes qui sont des symbiotes des racines des plantes (Adjanohoun, 2017). Les champignons à mycorhize arbusculaire (CMA) jouent un rôle de bio-indicateurs, dans la mesure où les sols agricoles peuvent être caractérisés par leurs communautés de champignons mycorhiziens (Meddich *et al.*, 2017). Les spores de CMA sont souvent considérées comme la principale réserve de propagules dans les sols (Boureima *et al.*, 2019). Les communautés de CMA influencent un certain nombre de processus importants de l'écosystème, y compris la productivité végétale, la diversité végétale et la structure du sol (Van der Heijden *et al.*, 1998). Ainsi, non seulement les CMA ont de multiples fonctions qui améliorent la performance de la plante, mais elles jouent également un rôle crucial dans le développement des propriétés du sol et la santé de l'ensemble de l'écosystème (Garg et Chandel, 2010). Malgré l'intérêt et l'importance des CMA (Duponnois *et al.*, 2013). Peu de travaux scientifiques se sont intéressés à l'étude des CMA pendant les stades de développement des plants. Cette étude se propose donc de contribuer à l'amélioration de la connaissance des champignons à mycorhize arbusculaire issus des pratiques de gestion de la fertilité du sol et de leur variation en fonction des stades phénologiques du mil.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 PRÉLÈVEMENT DES ÉCHANTILLONS DES SOLS ET RADICELLES

Les prélèvements des échantillons de sol et de racelles au niveau des poquets choisis ont été faits pendant les stades de tallage, de montaison et de grenaison en fonction des pratiques de gestion de la fertilité du sol. Les prélèvements ont concerné uniquement les racines fines plus faciles à observer au microscope. Ces racines prélevées ont été conservées dans des boîtes numérotées contenant du GEE (Glycérol-Ethanol-Eau). Les échantillons de sol ont été prélevés aux mêmes endroits que les racines et ont été mis dans des sachets plastiques stériles après séchage sous abri, à l'air libre, puis transportés au laboratoire de mycologie de l'Ecole Normale Supérieure de l'université Abdou Moumouni de Niamey.

2.2 EXTRACTION ET DÉNOMBREMENT DES SPORES DES CHAMPIGNONS À MYCORHIZES ARBUSCULAIRE

Les spores ont été extraites selon la méthode de Walker (1982). Une quantité de 100 g de sol a été versée dans un sceau rempli d'eau au ¼. Après avoir agité pendant 10 à 15 secondes, la suspension est passée au travers de 5 tamis superposés dont les mailles respectives sont de 63µm, 160µm, 250µm, 315µm, 630µm en allant du bas vers le haut. Le dépôt dans le tamis de 630µm de maille étant constitué de débris et contenant rarement de spores a été jeté. Le refus des différents tamis restants a été recueilli dans des boîtes de pétri. Le contenu de ces dernières a été ensuite mélangé et remué. Chaque boîte de Pétri contenant les spores est placée sous une loupe binoculaire, l'estimation du nombre de spores dans le sol est faite par comptage du nombre de spores vivantes contenues dans 1 ml de surnageant et par extrapolation sur le volume total (10 ml). Une identification du genre des spores par pratique de gestion de fertilité de sol est effectuée en se basant sur les critères proposés par Schenck et Smith (1982).

2.3 ESTIMATION DE L'INFECTION DES RACINES PAR LES CHAMPIGNONS À MYCORHIZES ARBUSCULAIRES

La technique de coloration des racines utilisée est celle décrite par Philips et Hayman (1970) modifiée. Les racines sont lavées avec de l'eau puis conservées pendant 24 h dans une solution de potasse (KOH) à 10 %. Elles sont ensuite blanchies en ajoutant quelques gouttes de H₂O₂ (100 V) au mélange KOH plus racines, pendant 5 mn. Après un rinçage à l'eau distillée, les racines sont acidifiées avec du HCl à 1 % pendant quelques minutes. Elles sont à nouveau rincées à l'eau distillée, puis colorées au bleu trypan (pendant au moins 24 h à l'air ambiant). L'évaluation des paramètres de mycorhization a consisté à prendre pour chaque échantillon, des fragments d'un (1) cm de long des racines colorées sont découpées et montées entre lame et lamelle en raison de 10 fragments par lame. Les lames sont observées au microscope. Le système de notation utilisé pour évaluer l'importance de la colonisation mycorhizienne est celui proposé par (Trouvelot *et al.* 1986).

3 RÉSULTATS

Tableau 1. Paramètres physico-chimiques du sol des différents traitements

Traitements		PH 1/2, 5	CE 1/5	Carbone	M O	P T	P ass	k+	Na+	A	LF	LG	SF	SG
Fumier	Moy	5,95 a	38,85 a	0,47 ab	0,81 ab	8,50 ab	5,82 a	0,02 a	2,15 a	8,79 a	8,07 a	37,22 a	4,32 a	2,15 a
Paillage	Moy	5,58 a	32,90 a	0,25 a	0,44 a	7,54 ab	5,19 a	0,03 a	2,40 a	9,03 a	8,22 a	35,99 a	4,63 a	2,40 a
Parcage	Moy	6,00 a	52,12 a	0,61 b	1,07 b	9,59 b	6,78 a	0,02 a	1,98 a	8,67 a	8,79 ab	38,25 a	4,46 a	1,98 a
Témoin	Moy	5,99 a	27,57 a	0,21 a	0,37 a	6,49 a	4,70 a	0,02 a	2,27 a	9,73 a	11,27 b	34,84 a	3,63 a	2,27 a

3.1 DÉNOMBREMENT ET DENSITÉ DES GENRES DE SPORES PAR TRAITEMENTS

L'observation sous loupe binoculaire à fort grossissement des spores provenant des échantillons de sol de la rhizosphère des plants du mil a révélé la présence de deux genres de spores; *Glomus* et (Figure1 B) et *Gigaspora* (Figure1 C). La densité des deux genres de spores de CMA identifiées a varié selon les traitements. L'analyse de la variance ($p=5\%$) a montré une différence significative entre les densités moyennes des genres de spores associées aux racines des plants de mil (Tableau 2). La densité des *Glomus* et des *Gigasporas* est plus élevée au niveau des traitements paillage (*Glomus* 42,74 et de *Gigaspora* 18,63) et témoin (*glomus*: 30,25 et *Gigaspora*: 15,88). Par contre, aucune différence significative n'a été observée entre les traitements comportant le fumier (*Glomus*: 24,22 et *Gigaspora*: 11,96) et le parcage (*Glomus* 21,81 et 6,5 *Gigasporas*). Ces résultats montrent la prédominance du genre *glomus* sur *gigaspora* quel que soit le traitement.

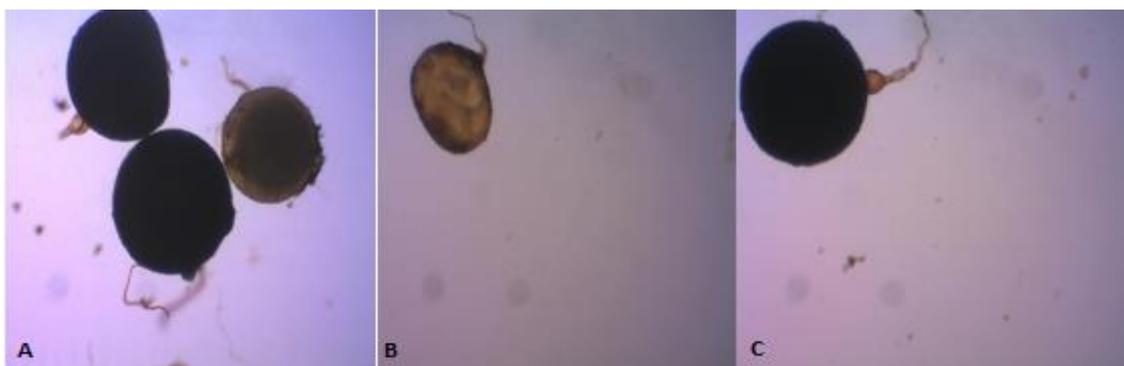


Fig. 1. Diversité des spores de champignons à mycorhizes arbusculaires

A: Amas de spores

B: *Glomus*

A: *Gigaspora*

Tableau 2. Dénombrement des spores au niveau des pratiques de gestion de la fertilité du sol

Traitements	Glomus	Gigasporas
Parcage	21,81c	9,00 c
Paillage	42,74 a	18,63 a
Fumier	24,22 c	11,96 bc
Témoin	30,25 b	15,88 ab

Les moyennes ne partageant aucune lettre sont sensiblement différentes au seuil de 5%.

3.2 EFFET DES STADES PHÉNOLOGIQUES SUR LE GENRE DE SPORE

L'analyse des échantillons de sol dénombrés en fonction des stades phénologiques montre que la plus grande densité de *glomus* est observée au stade tallage (38,44), suivi de la montaison (33,55), et de la grenaison (27,05) (figure 2). En ce qui concerne la densité des *Gigasporas* récoltés dans la rhizosphère pendant les stades phénologiques, les résultats montrent une variation en fonction des stades phénologiques. La plus grande moyenne des spores est observée au stade grenaison (9,91), suivi de la montaison (9,75) et du tallage (9,27) (figure 3). Il ressort de cette étude que l'analyse de la variance ($p=5\%$) n'a pas

donné de différences significatives entre les stades phénologiques au niveau de Gigasporas. Cependant on remarque tout de même une diminution de la moyenne des spores du stade tallage vers la grenaison. A l'inverse des Gigasporas, une augmentation du nombre de Glomus est enregistrée à chaque stade du développement des plants de mil (du tallage vers la grenaison).

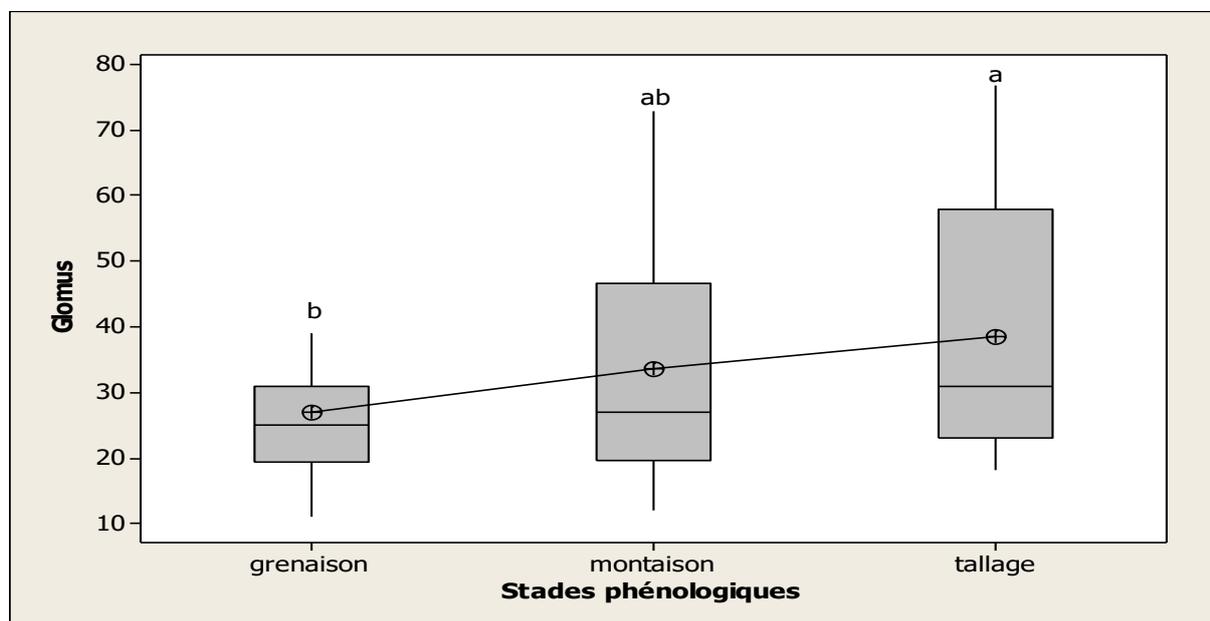


Fig. 2. Variations du nombre de Glomus par stades phénologiques

Les moyennes ne partageant aucune lettre sont sensiblement différentes au seuil de 5 %

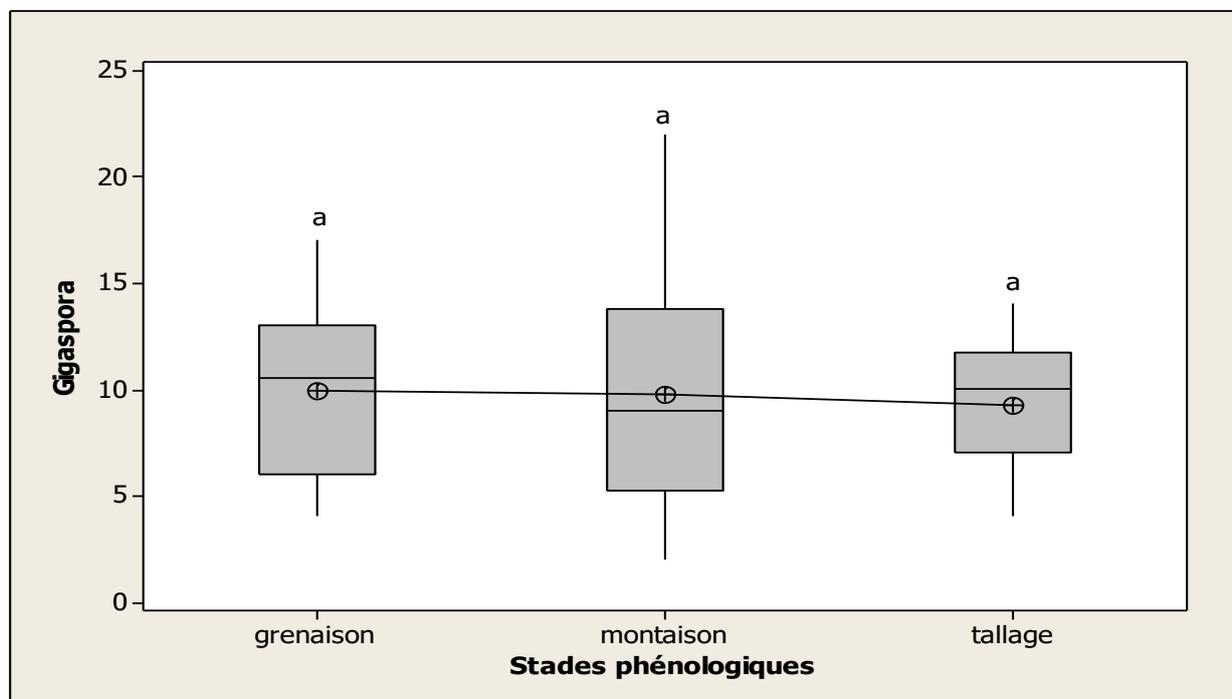


Fig. 3. Variation du nombre de Gigasporas par stades phénologiques

Les moyennes ne partageant aucune lettre sont sensiblement différentes au seuil de 5 %.

3.3 EFFET DES STADES PHÉNOLOGIQUES SUR LA DENSITÉ TOTALE DES SPORES

La densité totale des spores par stades du développement des plants (figure 4) montre une différence significative entre les stades. Le nombre de spores récoltées au stade tallage a été plus abondant avec une densité totale de (47,72) cette densité est suivie de celle des spores récoltées au stade montaison (43,3) puis vient la densité des spores récoltées à la grenaison (36,97). Il ressort de cette étude que le nombre de spores varie en fonction des stades phénologiques et que le sol contient plus de spores au stade tallage qu'au stade montaison et grenaison.

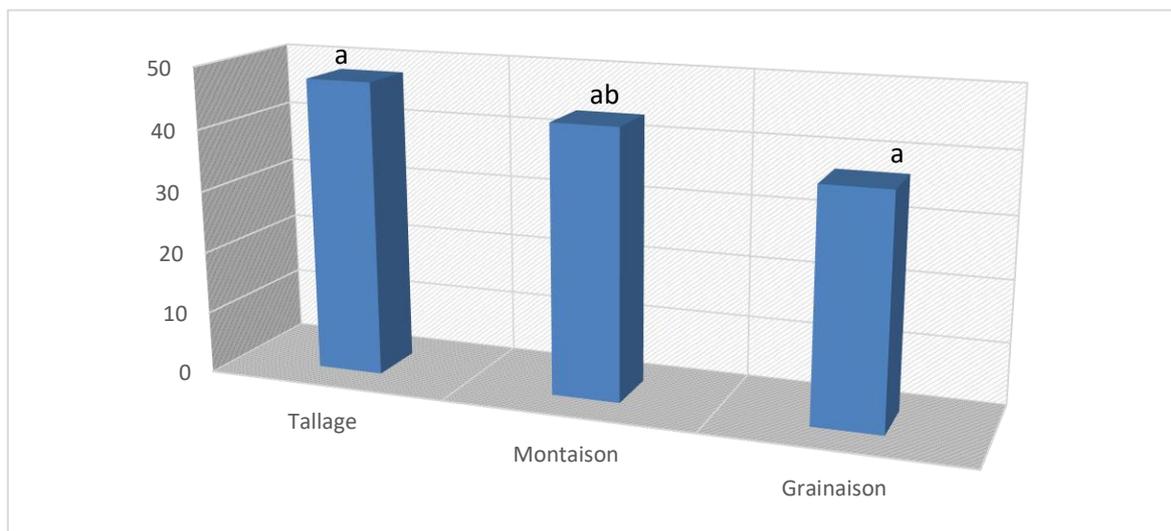


Fig. 4. Variation du nombre de spores selon les stades phénologiques

Les moyennes ne partageant aucune lettre sont sensiblement différentes au seuil de 5 %.

3.4 EFFET DES PRATIQUES DE GESTION DE LA FERTILITÉ DU SOL SUR LES PARAMÈTRES DE MYCORHIZATION

L'observation à la loupe binoculaire a montré que la plupart des racines observées ne présentent qu'un seul type d'association qui se répète, quel que soit le site ou le traitement. La coloration racinaire au bleu de trypan a révélé des structures caractéristiques des endomycorhizes (figure 5 a, b, c). Ces structures mycorhiziennes ont montré des hyphes qui se ramifient le long du cortex racinaire (figure 5a) et des vésicules qui s'intercalent entre les cortex cellulaires (figure 5 b, c). L'examen des racines du mil a montré que tous les échantillons observés au microscope sont colonisés par des champignons mycorhiziens arbusculaires (CMA). La fréquence de mycorhization (F %) a atteint 100 % au niveau de toutes les racines de mil de tous les traitements. Pour l'intensité de mycorhization (M %), l'analyse de la variance (Figure 6) ne montre pas de différence significative entre les traitements; cependant, on constate que le paillage a enregistré le taux le plus important (61,06), suivi du témoin (58,41) et du fumier (58,31). Ce taux reste moins élevé du parçage avec 53,68.

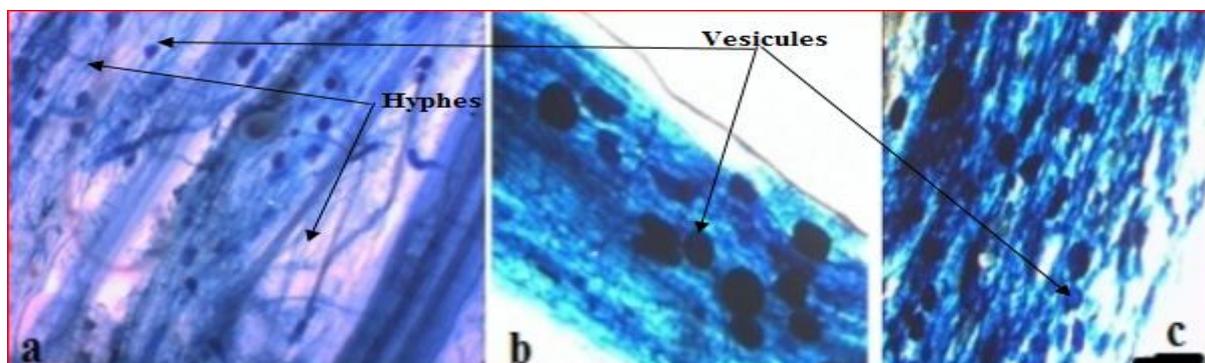


Fig. 5. Fragments racinaires mycorhizes du mil avec des spores et des mycéliums visibles

a. Hyphes

b, c Vésicules et arbuscules.

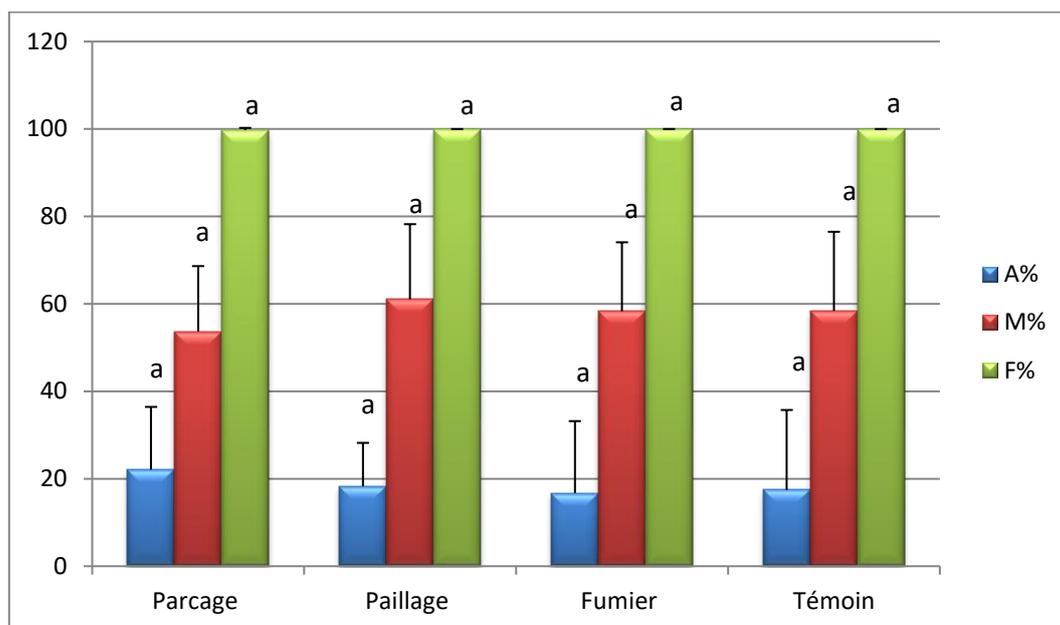


Fig. 6. Intensité, fréquence et taux arbusculaire par traitements

3.5 EFFET DES STADES PHÉNOLOGIQUES SUR LES PARAMÈTRES DE MYCORHIZATION

La figure 8 montre l'évolution du taux de mycorhization (M), du taux arbusculaire (A) et de la fréquence (F %) selon le stade de développement du mil. On remarque d'après l'analyse de cette figure que l'intensité de mycorhization du cortex racinaire ainsi que celui de la teneur en arbuscules sont plus importantes au stade tallage (70,53 % M et 31,19 de A). Ces taux diminuent au fur et à mesure qu'on s'approche du stade montaison (63,01 et 13,19) puis chute progressivement du stade montaison au stade grenaison (40,05 % de M et 10,81 % de A). A l'inverse du taux de mycorhization arbusculaire, pour la fréquence de mycorhization, il ressort de l'analyse de la figure 7 que les stades phénologiques n'ont pas eu d'effet sur la fréquence de mycorhization du mil qui est de 100 % quel que soit le stade.

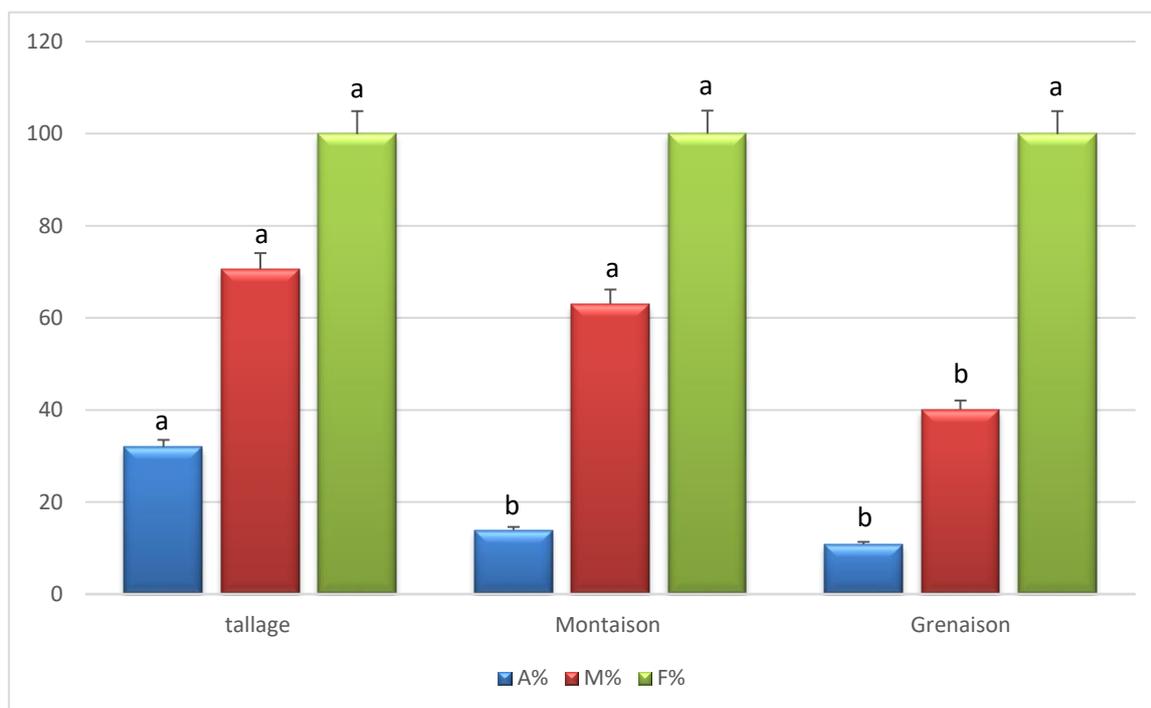


Fig. 7. Stades phénologiques en fonction des paramètres de mycorhization

4 DISCUSSION

Deux genres de spores ont été récoltés dans la rhizosphère des plants du mil de la zone du Parc W: il s'agit de *Glomus* et de *Gigaspora*. Ces résultats concordent avec ceux obtenus par Bourou (2012). Pour cet auteur, *Glomus* et *Gigaspora* sont les genres de spores les plus représentés en milieu aride. Nos résultats montrent également l'abondance de *Glomus* par rapport à *Gigaspora*. Selon Hatimi et Tahrouch (2007) *Glomus* semble être le genre le plus ubiquiste des champignons endomycorhiziens. Les spores de champignons mycorhiziens à arbuscules (CMA) sont souvent considérées comme la principale réserve de propagules dans les sols (S. Boureima *et al.*, 2019). La différence de densités de spores enregistrées entre les pratiques de gestion de la fertilité des sols pourrait être due au taux faible en matière organique au niveau du paillage et témoin. En effet, les paramètres physico-chimiques sont essentiels dans la répartition et l'abondance des champignons mycorhiziens (Abbas, 2012). Le pH et la matière organique peuvent être des régulateurs de la sporulation des champignons mycorhiziens arbusculaires (Klironomos *et al.* 1993). Mosse, 1973) a remarqué que le genre *Glomus* apparaissait généralement dans les sols à pH neutre ou alcalin. L'examen des racines du mil a montré que tous les échantillons observés au microscope sont colonisés par des champignons mycorhiziens arbusculaires (CMA). La fréquence de mycorhization (F %) a atteint 100 % au niveau de toutes les racines de mil de tous les traitements. L'intensité de mycorhization est élevée au niveau du témoin et du paillage ce s'expliquerait probablement par la faible concentration en éléments minéraux dans ces deux traitements; ce qui favoriserait l'infection racinaire des CMA. Le bon fonctionnement de la mycorhization est relevé dans le cas des sols pauvres. C'est sous des conditions déficitaires que la plante hôte établit cette relation symbiotique avec les CMA et facilite le plus les échanges avec le partenaire mycorhize (Meddich *et al.*, 2017). L'intensité de la colonisation racinaire par les champignons symbiotiques est réduite quand le niveau de phosphore augmente dans le sol et devient ainsi directement disponible pour la plante (Dickson *et al.*, 1999). Selon Garcia *et al.* (2001) une concentration élevée en phosphore et en azote conduirait à une diminution de la disponibilité en sucres solubles au niveau de la racine, d'où une réduction de l'intensité de mycorhization. Ce qui expliquerait le taux de colonisation racinaire faible observé au niveau du parage. En ce qui concerne la teneur en arbuscules (A %), il n'y a pas eu de différences entre les traitements. Néanmoins à l'inverse de l'intensité de mycorhization, les arbuscules ont été plus abondants au niveau du parage, et faible au niveau du témoin. L'étude a montré une incidence négative du parage et de l'apport du fumier sur les paramètres de mycorhization du mil. Ces résultats corroborent ceux de Assini (2009) qui a remarqué une baisse des paramètres de mycorhization suite à l'application de traitements à base de fumures organiques. L'étude sur l'évolution du taux de mycorhization (M), du taux arbusculaire (A) et de la Fréquence (F %) selon le stade de développement du mil a fait ressortir que l'intensité de mycorhization du cortex racinaire ainsi que celui de la teneur en arbuscules sont plus importantes au stade tallage. Ces taux diminuent au fur et à mesure qu'on s'approche du stade montaison, puis chute progressivement du stade montaison au stade grenaison. A l'inverse du taux de mycorhization et arbusculaire, pour la fréquence de mycorhization, il ressort de l'étude que les stades phénologiques n'ont pas eu d'effet sur la fréquence de mycorhization du mil qui est de 100 % quel que soit le stade. Ces résultats corroborent ceux de Yaouba (2016), qui a trouvé des paramètres de mycorhization plus élevés au stade montaison du mil qu'au stade maturité. Selon le même auteur, le mil au stade montaison a un besoin croissant en éléments nutritifs. Pour cela, il a plus besoin de s'associer aux mycorhizes. Le stade phénologique de la plante détermine la disponibilité des carbohydrates pour la plante et le CMA (Adriano-Anaya *et al.*, 2006), ainsi que les besoins de la plante en phosphore. Ceux-ci sont supérieurs en début de croissance (Smith *et al.*, 1992), le stade de croissance devient dès lors un facteur décisif pour le taux et l'étendue de la relation symbiotique.

5 CONCLUSION

L'étude des champignons à mycorhize arbusculaire en fonction des pratiques de gestion de la fertilité du sol a donné deux types de spores appartenant aux familles des Gigasporaceae et Glomaceae. L'examen à la loupe binoculaire des racines du mil a montré qu'elles sont colonisées par des champignons mycorhiziens arbusculaires (CMA). D'après les résultats, le paillage a enregistré les taux de mycorhization les plus importants, ces taux restent moins élevés au niveau du parage. Le nombre de spores récoltées au stade tallage est plus important que celui récolté à la montaison et à la grenaison. L'intensité de la mycorhization ainsi que celui de la teneur en arbuscule sont plus importantes au stade tallage. L'étude a montré que le parage et le fumier n'ont pas eu d'influence sur la mycorhization du mil. Le paillage est la pratique la plus adaptée à la prolifération des spores et à la colonisation des racines. Notre étude a permis de comprendre que le mil a beaucoup plus besoin de la mycorhization pendant le stade tallage.

REFERENCES

- [1] Adjanohoun A., Noumavo P. A., Sikirou R., Allagbé M., Gotoechan-Hodonou H., Dossa K. K., Yèhouéno B., Glèlè Kakaï R., Baba-Moussa L. (2012). Effets des rhizobactéries PGPR sur le rendement et les teneurs en macroéléments du maïs sur sol ferrallitique non dégradé au Sud-Bénin. *International Journal Biological and Chemical Sciences*, 6: 279-288.
- [2] S. Boureima, M. Ibrahim, D. Ibrahim, S. Lawali. (2019). Les pratiques paysannes de régénération naturelle assistée des arbustes favorisent le développement des champignons mycorhiziens arbusculaires. *Agronomie Africaine* 31 (2): 1 - 14.
- [3] FAO, FIDA, OMS, PAM et UNICEF. 2018. L'État de la sécurité alimentaire et de la nutrition dans le monde 2018. Renforcer la résilience face aux changements climatiques pour la sécurité alimentaire et la nutrition. Rome, FAO.
- [4] Duponnois R, Hafidi M, Ndoye I, Ramanankierana H, Bà AM. 2013. Des champignons symbiotiques contre la désertification : écosystèmes méditerranéens, tropicaux et insulaires. Marseille: Édition IRD.
- [5] Meddich A, Ait El Mokhtar M, Wahbi S, Boumezzough A. 2017. Évaluation des potentialités mycorhizogènes en lien avec les paramètres physico-chimiques des sols de palmeraies du Maroc (Marrakech et Tafilalet). *Cah. Agric.* 26: 45012.
- [6] Zézé A., M. Hosny, V. Gianinazzi-Pearson and H. Dullieu. 1996. Characterisation of a highly repeated DNA sequence (SC1) from the arbuscular mycorrhizal fungus *Scutellospora castanea* and its use as a diagnostic probe *in planta*. *Applied and Environmental Microbiology* 62: 2443 - 2448.
- [7] Walker C. and Sanders F.E., 1986. Taxonomic concepts in the endogonaceae. III: The separation of *Scutellospora* gen. Nov. From *Gigaspora* Gerd. & Trappe. *Mycotaxon*, XXXII.
- [8] Trouvelot A., J. L. Kough and V. Gianinazzi-Pearson. 1986. Mesure du taux de mycorhization VA d'un système racinaire. Recherche des méthodes d'estimation ayant une signification fonctionnelle. In: V. Gianinazzi.
- [9] Schenck, N. C. & Smith, G. S. (1982), Additional new and unreported species of Mycorrhizal fungi (Endogonaceae) from Florida. *Mycologia* 77 (4), 566-574.
- [10] Phillips J.M. and Hayman D.S., 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Brit. Mycol. Soc.*, 55: 158-161.
- [11] Bourou S. 2012. Étude éco-physiologique du tamarinier (*Tamarindus indica*L.) en milieu tropical aride, Thèse de Doctorat (PhD) en Bio-Ingénieries, Université de Gand, Belgique, 193 p.
- [12] Abbas Y. 2012. Microorganismes de la rhizosphère des Tétracéales: un outil pour optimiser la régénération assistée du *Tetraclis articulata* Vahl. Thèse Doctorat en Ecophysiologie végétale, Université Mohamed V, Rabat, 177 p.