

Tiby GUISSOU

Laboratoire de microbiologie forestière,
Inera-DPF,
BP 7047,
Ouagadougou 03, Burkina Faso.
Université de Ouagadougou, FAST,
BP 7021,
Ouagadougou, Burkina Faso.
<tguissou@caramail.com>

Amadou Moustapha BÂ

Laboratoire de biologie
et de physiologie végétales,
Faculté des Sciences,
Université des Antilles et de la Guyane,
BP 592, 97159 Pointe-à-Pitre,
Guadeloupe, France.

Christian PLENCHETTE

INRA, Unité de malherbiologie
et agronomie,
17, rue Sully,
21034 Dijon Cedex, France.

Sita GUINKO

Université de Ouagadougou, FAST,
BP 7021,
Ouagadougou, Burkina Faso.

Robin DUPONNOIS

Laboratoire de bio-pédologie, IRD,
BP 1386,
Dakar, Sénégal.

Effets des mycorhizes à arbuscules sur la tolérance à un stress hydrique de quatre arbres fruitiers : *Balanites aegyptiaca* (L.) Del., *Parkia biglobosa* (Jacq.) Benth., *Tamarindus indica* L. et *Zizyphus mauritiana* Lam.

L'effet des mycorhizes a été testé sur quatre espèces d'arbres fruitiers à usages multiples des systèmes agroforestiers des zones arides et semi-arides. L'objet du travail a été d'évaluer, en situation de stress hydrique, le comportement de ces arbres fortement dépendants de *glomus aggregatum* pour leur nutrition minérale.

La sécheresse est l'un des facteurs limitant la production agricole et forestière dans les zones arides et semi-arides d'Afrique de l'Ouest [1]. Elle se traduit par une faible disponibilité en eau dont le rôle est essentiel, notamment dans le transport et l'accumulation de solutés nécessaires au métabolisme végétal [2]. Les plantes disposent de plusieurs stratégies d'adaptation au stress hydrique dont l'aptitude à s'associer symbiotiquement avec des champignons mycorhiziens à arbuscules universellement répandus et à très large spectre d'hôtes [3, 4]. La tolérance dans le cas d'un abaissement du potentiel hydrique du sol des plantes mycorhizées s'exprime par une diminution de la résistance au transport de l'eau dans les racines mycorhizées et par le maintien de la turgescence des cellules foliaires grâce à l'accumulation de solutés [5-7].

Balanites aegyptiaca, *Parkia biglobosa*, *Tamarindus indica* et *Zizyphus mauritiana* sont des espèces fruitières à usages multiples dans les systèmes agroforestiers des zones arides et semi-arides d'Afrique de l'Ouest. Ils fournissent des fruits comestibles qui sont une source de revenu non négligeable pour les paysans, notamment en période de soudure. Ces fruitiers dépendent des mycorhizes pour leur croissance juvénile, en particulier lorsqu'ils sont inoculés avec *Glomus aggregatum* [8, 9]. Il est permis de penser que, en situation de stress hydrique, l'inoculation de ces arbres fruitiers par ce champignon mycorhizien sélectionné pourrait améliorer leur tolérance au stress hydrique et, partant, leur efficacité d'utilisation d'eau et leur nutrition minérale. L'objectif de ce présent travail est donc d'étudier le comportement de ces arbres fruitiers fortement dépendants de



Références

1. Van Keulen H, Breman H. Agriculture development in the West African Sahelian region: a cure against land hunger? *Agric Ecosyst Environ* 1990; 32: 177-97.
2. Monneveux P, This D. La génétique face au problème de la tolérance des plantes cultivées à la sécheresse: espoirs et difficultés. *Sécheresse* 1997; 8: 29-37.
3. Brundrett MC. Mycorrhizas in natural ecosystems. In: Macfayden A, Begon M, Fitter AH, eds. *Advances in ecological research*. London: Academic Press, 1991; 21: 171-313.
4. Strullu DG. Les relations entre les plantes et les champignons. In: Strullu DG, Garbaye J, Perrin R, Planchette C, eds. *Les mycorrhizes des arbres et plantes cultivées*. Paris: Lavoisier, 1991: 9-49.
5. Subramanian KS, Charest C. Influence of arbuscular mycorrhizae on the metabolism of maize under drought stress. *Mycorrhiza* 1995; 5: 273-8.
6. Duan X, Neuman DS, Reiber JM, Green CD, Saxton AM, Augé RM. Mycorrhizal influence on hydraulic and hormonal factors implicated in the control of stomatal conductance during drought. *J Experimental Botany* 1996; 303: 1541-50.
7. Collinson ST, Clawson EJ, Azam-Ali SN, Black CR. Effects of soil moisture deficits on the water relations of bambara groundnut (*Vigna subterranea* L. Verdc.). *J Experimental Botany* 1997; 48: 877-84.
8. Guissou T, Bâ AM, Ouadba JM, Guinko S, Duponnois R. Responses of *Parkia biglobosa* (Jacq.) Benth, *Tamarindus indica* L and *Zizyphus mauritiana* Lam. to vesicular mycorrhizal fungi in a phosphorus-deficient sandy soil. *Biol Fertil Soils* 1998; 26: 194-8.
9. Bâ AM, Planchette C, Dantho P, Duponnois R, Guissou T. Functional compatibility of two arbuscular mycorrhizae with thirteen fruit trees in Senegal. *Agrofor Syst* 2000; 50: 95-105.
10. Rouspard O, Joly HI, Dreyer E. Écophysiologie de *Faidherbia albida*: fonctionnement hydrique en parc agroforestier et variabilité intraspécifique de caractéristiques juvéniles. In: *Les Parcs à Faidherbia*. Cahiers Scientifiques. Cirad-Forêts ed., 1996; 12: 85-102.

Glomus aggregatum pour la nutrition minérale [9] en situation de stress hydrique.

Matériel et méthodes

Le substrat de culture utilisé dans cette expérience a été prélevé sous un pied d'*Azelia africana* Sm. à Dindéresso (sud-ouest du Burkina Faso). C'est un sol sableux, pauvre en matière organique et en phosphore, représentatif des sols de la région. Il a été prélevé à une profondeur de 0-20 cm. Ce sol récolté a été tamisé (2 mm) et autoclavé (120 °C/1 h). La composition physico-chimique du sol est :

- 6,7 % d'argile ;
- 6,5 % de limon ;
- 86,6 % de sable ;
- 0,6 % de matière organique ;
- 0,3 % de carbone ;
- 0,05 % d'azote total ;
- ratio C/N de 7 ;
- 98 µg/g de P total ;
- 2,18 µg/g de P assimilable (Bray-I) ;
- pH_{eau} (H₂O, 1 : 2) de 7,4 ;
- pH_{KCl} (KCl, 1 : 2) de 6,8.

Les pots en aluminium (51 cm x 17 cm) que nous avons utilisés dans cette expérience disposent d'un volume approprié pour le développement du système racinaire de jeunes arbres [10]. Ils ont été remplis avec du sol stérilisé dans lequel on a incorporé en surface 15 g en poids sec d'inoculum fongique. L'inoculum a été préparé à partir d'une culture de mil inoculé avec un champignon mycorrhizien *Glomus aggregatum* [11]. Il est composé de sable, de spores et de racines mycorrhizées de mil. Les pots témoins non inoculés ont reçu chacun la même quantité d'inoculum stérilisé et 10 ml d'un filtrat bactérien obtenu par filtration de l'inoculum fongique filtré sur papier Whatman n° 1. Ce champignon est réputé efficace sur la croissance des fruitiers forestiers [8, 9].

Les pots sont munis d'un dispositif de drainage qui permet de déterminer la capacité au champ. La méthode utilisée pour appliquer la contrainte hydrique consiste à :

- déterminer le poids du pot plein de sol (P₁) ;
- arroser ensuite le sol jusqu'à saturation ;
- laisser ressuyer le sol pendant 48 h ;
- peser à nouveau le pot (P₂).

La différence P₂-P₁ donne la quantité d'eau correspondant à la capacité au champ. Le contenu en eau du sol (CES) a été maintenu à la capacité au champ jusqu'au début du 2^e mois (arrosage normal), où la moitié des plants de tous les traitements a été soumise à un stress hydrique avec un CES de 12 % (stress hydrique), valeur à partir de laquelle on note un début de flétrissement des plants, particulièrement chez *Z. mauritiana*. La quantité permettant d'atteindre 12 % de la capacité au champ est donc 0,12 x (P₂-P₁). Le poids total des pots subissant le stress hydrique était donc P₃ = P₁ + 0,12 x (P₂-P₁). La contrainte hydrique a été maintenue par un contrôle quotidien de P₃ et l'apport d'eau courante (sans apport d'éléments nutritifs) en quantité appropriée.

Les graines de *Balanites aegyptiaca* (provenance Bandougou, lot n° 1075), de *Parkia biglobosa* (provenance Bancartougou, lot n° 1600), *Tamarindus indica* (provenance Kongoussi, lot N° 1389) et *Zizyphus mauritiana* (provenance Lery, lot n° 1774) ont été fournies par le Centre national de semences forestières (CNSF, Ouagadougou, Burkina Faso). Les graines de *B. aegyptiaca*, *P. biglobosa*, *T. indica* et *Z. mauritiana* ont été traitées avec de l'acide sulfurique à 95 % respectivement pendant 80 min, 30 min, 45 min et 10 min puis rincées abondamment à l'eau distillée stérile. Elles ont été mises à germer sur du coton hydrophile humidifié et stérilisé dans des boîtes de Petri et incubées à l'étuve à 30 °C. Les graines prégermées ont été repiquées dans chaque pot à raison d'un semis/pot. Afin d'évaluer la quantité d'eau perdue par évaporation du sol à l'intérieur des pots, un traitement supplémentaire a été réalisé avec 10 pots non semés et non inoculés. Nous avons utilisé un dispositif expérimental de type factoriel à 3 facteurs : 4 arbres fruitiers x 2 traitements mycorrhiziens (*G. aggregatum* et témoin non mycorrhizé) x 2 régimes d'arrosage (normal et stress hydrique). Chacun des 16 traitements a été répété 10 fois en randomisation totale. Les pots ont été disposés dans un abri extérieur à la température et à la lumière du jour (photopériode d'environ 12 h, température moyenne jour/nuit de 35 °C/25 °C, humidité relative de 16-89 %, intensité lumineuse maximale de 196 watts/m²). L'expérience a été arrêtée 16 semaines après l'application du régime de stress.

Des paramètres de croissance (masse sèche totale, surface foliaire) et de consommation en eau ont été mesurés. La masse sèche totale a été mesurée après séchage à l'étuve (6 jours à 70 °C) des feuilles, tiges et racines. La surface foliaire a été mesurée (3 plants par fruitier) à l'aide d'un surfaceur au laboratoire d'écologie à l'IRD (Dakar, Sénégal). L'efficacité d'utilisation d'eau (EUE) des plants a été calculée en faisant le rapport entre la masse sèche totale produite des plants sur la consommation d'eau [12]. La consommation d'eau a été évaluée par la différence entre la quantité d'eau totale perdue dans chaque pot et la quantité d'eau moyennée évaporée du sol (29,6 g d'eau/jour) à la fin de l'expérience. La dépendance mycorhizienne (DM) des plants est déterminée suivant la formule : $DM \% = 100 \times [(masse\ sèche\ des\ plants\ mycorhizés - masse\ sèche\ des\ plants\ témoins) / masse\ sèche\ des\ plants\ mycorhizés]$ [13]. La tolérance des plants au stress hydrique est déterminée par l'indice de résistance au stress hydrique (IRS) calculée comme suit : $IRS = (masse\ sèche\ totale\ des\ plants\ stressés / masse\ sèche\ totale\ des\ plants\ non\ stressés)$ [14]. Les racines latérales de chaque plant ont été échantillonnées, éclaircies avec du KOH à 10 % et colorées avec du bleu trypan suivant la méthode décrite par Bâ et Guissou [15]. Le taux de mycorhization (intensité de la mycorhization) des plants a été déterminé par la méthode de Kormanik et McGraw [16]. Des variables de nutrition minérale ont été déterminées, en particulier N, P, K et Mg dans les tiges feuillées. Le phosphore et l'azote total des tiges feuillées ont été déterminés respectivement par colorimétrie au bleu de molybdène [17] et par la méthode Kjeldahl, le potassium et le magnésium par absorption

atomique au spectrophotomètre [18]. Ces analyses ont été réalisées au laboratoire du Pr. S. Guinko à la Faculté des sciences et techniques de l'Université de Ouagadougou (Burkina Faso). Les données ont été statistiquement analysées par la procédure de l'analyse de variance et les moyennes comparées à l'aide du test de Newman-Keul ($p < 0,05$) [19].

Résultats

L'interaction triple (mycorhization x stress hydrique x espèces d'arbres fruitiers) est significative ($p < 0,05$) seulement pour la dépendance mycorhizienne (tableau I) et pour les variables de nutrition minérale (tableau II). Quel que soit le régime d'arrosage, *G. aggregatum* a augmenté la production de biomasse des arbres fruitiers à l'exception de *B. aegyptiaca* (figure 1A). Cette production de biomasse est cependant significativement réduite sous l'effet du stress hydrique (figure 1A, tableau I). Les arbres fruitiers ont à peu près le même classement en termes de dépendance mycorhizienne (DM) (figure 1B). En régime normal, *Z. mauritiana* et *T. indica* ont la plus forte valeur de DM et *B. aegyptiaca* la plus faible, probablement à cause de son faible taux de mycorhization (figure 1D). La valeur de la DM de *P. biglobosa* est à un niveau intermédiaire (figure 1D). Seule la DM de *T. indica* diminue en régime de stress hydrique (figure 1B). Dans ce cas de figure, *Z. mauritiana* est l'arbre fruitier le plus dépendant des mycorhizes. L'indice de résistance au stress hydrique (IRS) est le même chez les fruitiers mycorhizés ou non (tableau III). En régime normal, la consommation en eau a été significativement plus forte

chez les arbres fruitiers mycorhizés (figure 1C). Cependant, *G. aggregatum* n'a pas amélioré la consommation en eau chez *P. biglobosa* et *T. indica* en régime de stress. Dans ce cas, les plants mycorhizés de *Z. mauritiana* présentent la plus forte consommation en eau (figure 1C). Par ailleurs, la mycorhization a eu un effet significatif ($p < 0,01$) sur la surface foliaire des arbres fruitiers (tableau I), en particulier chez *P. biglobosa* et *Z. mauritiana* aussi bien en régime normal qu'en régime de stress (figure 1E).

Le stress hydrique a un effet significatif ($p < 0,01$) sur la concentration des minéraux dans les tiges feuillées des arbres fruitiers (tableau II). Les concentrations en N, P, K et Mg ont augmenté dans les tiges feuillées, en particulier chez les plants mycorhizés de *P. biglobosa*, *T. indica* et *Z. mauritiana* quel que soit le régime d'arrosage (figure 2). Cependant, les concentrations en N et K dans les tiges feuillées chez des fruitiers mycorhizés diminuent en régime de stress hydrique (figures 2A et C). Il en est de même pour les concentrations en P et Mg dans les tiges feuillées de *P. biglobosa* et *T. indica* (figures 2B et D). En revanche, la concentration en P dans les tiges feuillées des plants mycorhizés de *Z. mauritiana* a significativement augmenté sous l'effet du stress (figure 2B).

Discussion

Nos résultats montrent que les quatre arbres fruitiers répondent différemment à la mycorhization avec *G. aggregatum*. *B. aegyptiaca* apparaît comme l'arbre fruitier le moins dépendant des mycorhizes et *Z. mauritiana* est celui qui répond le plus, même après l'applica-

Tableau I. Analyses de la variance des effets simples ou interactifs sur la masse sèche totale (MST), la dépendance mycorhizienne (DM), la consommation en eau, le taux de mycorhization, la surface foliaire et l'efficacité d'utilisation d'eau (EUE) des quatre arbres fruitiers

Effets des facteurs	MST (g)	DM (%)	Consommation en eau (g d'eau/jour)	Taux de mycorhization (%)	Surface foliaire (cm ²)	EUE (g d'eau/jour)
Espèces (E)	**	**	**	**	**	**
Mycorhize (M)	**	**	**	**	**	**
Régime d'arrosage (R)	**	**	**	**	**	**
E x M	**	**	**	**	**	**
E x R	**	**	**	**	**	**
M x R	**	**	**	**	**	**
E x M x R	**	**	**	**	**	**

ns : non significatif ; * : significatif à 5 % ; ** : significatif à 1 %.

Références

11. Bâ AM, Dalpé Y, Guissou T. Les Glomales d'*Acacia holosericea* et d'*Acacia mangium* : diversité et abondance relative des champignons mycorrhiziens à arbuscules dans deux types de sols de plantations au Burkina Faso. *Bois For Trop* 1996 ; 250 : 5-18.

12. Guehl JM, Nguyen-Queyrens A, Loustau D, Ferhi A. Genetic and environmental determination of water use efficiency and carbon isotope discrimination in forest trees. In : Masimbert MB, Sandermann H, eds. *Eurosilvia, a contribution to modern forest tree physiology*. France : les colloques de l'Inra, 1995 ; 72.

13. Plenchette C, Fortin JA, Furlan V. Growth responses of several plant species to mycorrhizae in a soil of moderate P-fertility. I. Mycorrhizal dependency under field conditions. *Plant and Soil* 1983 ; 70 : 199-209.

14. Fischer RA, Maurer R. Drought resistance in spring wheat cultivars. Grain yield responses. *Aust J Agric Res* 1978 ; 29 : 897-903.

15. Bâ AM, Guissou T. Rock phosphate and vesicular-arbuscular mycorrhiza effects on growth and nutrient uptake of *Acacia albida* (Del.) seedlings in an alkaline sandy soil. *Agrofor Syst* 1996 ; 34 : 129-37.

16. Kormanik PP, McGraw AC. Quantification of vesicular-arbuscular mycorrhizae in plant roots. In : Schenck NC, ed. *Methods and principles of mycorrhizal research*. St Paul, Minnesota : The American Phytopathological Society, 1982 : 37-45.

17. Murphy J, Riley JP. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal Chim Acta* 1962 ; 27 : 31-5.

18. John MK. Colorimetric determination in soil and plant material with ascorbic acid. *Soil Science* 1970 ; 68 : 171-7.

19. Beaux MF, Gouet H, Gouet JP, Morleghe P, Philippeau G, Tranchefort J, Verneau M. In : Céréaliéristes de France, eds. *Stat-ITCF, Manuel d'utilisation*. France : ITCF, 1991.

20. Bryla DR, Duniway JM. Effects of mycorrhizal infection on drought tolerance and recovery in safflower and wheat. *Plant and Soil* 1997 ; 197 : 95-103.

21. Schellenbaum L, Muller J, Bollner T, Wiemken A, Schuepp H. Effects of drought on non-mycorrhizal and mycorrhizal maize : changes in the pools of non-structural carbohydrates, in the activities of invertases and trehalase, and in the pools of amino acids and imino acids. *New Phytol* 1998 ; 138 : 59-66.

Tableau II. Analyses de la variance des effets simples ou interactifs sur la concentration en N, P, K et Mg dans les tiges feuillées des quatre arbres fruitiers

Effets des facteurs	N (%)	P (%)	K (%)	Mg (%)
Arbre (A)				
Mycorhize (M)				
Régime d'arrosage (R)				
A x M				
A x R				
M x R				
A x M x R				

ns : non significatif ; * : significatif à 5 % ; ** : significatif à 1 %.

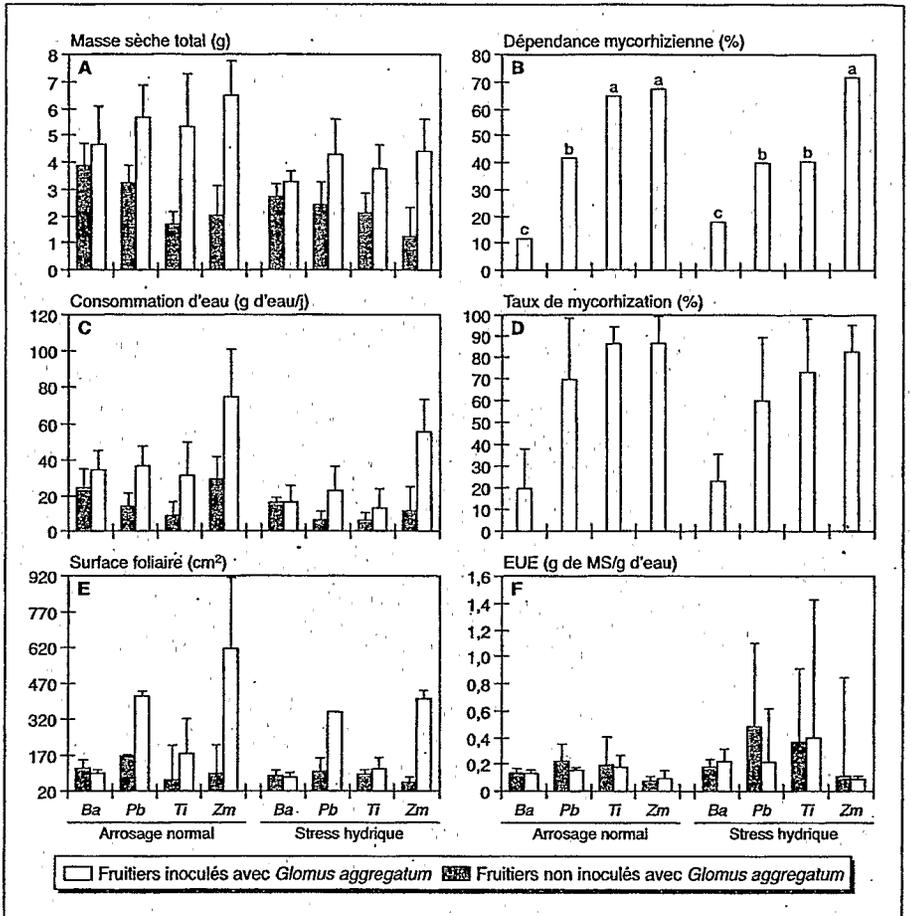


Figure 1. Effets du stress hydrique et de l'inoculation avec *Glomus aggregatum* sur la masse sèche totale (A), la dépendance mycorrhizienne (B), la consommation d'eau (C), le taux de mycorrhization (D), la surface foliaire (E) et l'efficacité d'utilisation d'eau (EUE) (F) chez les fruitiers *Balanites aegyptiaca* (Ba), *Parkia biglobosa* (Pb), *Tamarindus indica* (Ti) et *Zizyphus mauritiana* (Zm) âgés de 6 mois. Les valeurs ayant la même lettre ne sont pas significativement différentes (test de Newman-Keul, $p < 5\%$). Les barres représentent les écarts types des moyennes.

tion de la contrainte hydrique. *T. indica* et *P. biglobosa* sont à des niveaux intermédiaires de dépendance mycorrhizienne notamment en régime de stress hydrique. Ces résultats sont comparables à ceux que nous avons obtenus dans des études antérieures [8, 9].

L'importance du taux de mycorrhization avec *G. aggregatum* ne préjuge pas de son efficacité sur la croissance des arbres fruitiers. En effet, *P. biglobosa* et *T. indica* répondent de façon moins marquée à l'inoculation alors qu'ils ont des taux de mycorrhization comparables

Références

22. Goicoechea N, Antolin MC, Sanchez-Diaz M. Influence of arbuscular mycorrhizae and *Rhizobium* on nutrient content and water relations in drought stressed alfalfa. *Plant and Soil* 1997 ; 192 : 261-8.

23. Kothari SK, Marschner H, George E. Effects of VA-mycorrhizal fungi and rhizosphere microorganisms on root and shoot morphology, growth and water relations in maize. *New Phytol* 1990 ; 131 : 177-85.

24. Subramanian KS, Charest C, Dwyer LM, Hamilton RI. Arbuscular mycorrhizas and water relations in maize under drought stress at tasselling. *New Phytol* 1995 ; 129 : 643-50.

25. Davies FT, Svenson SE, Cole JC, et al. Non-nutritional stress acclimation of mycorrhizal woody plants exposed to drought. *Tree Physiology* 1996 ; 16 : 985-93.

26. Ruiz-Lozano JM, Gomez M, Azcon R. Influence of different *Glomus* species on the time-course of physiological plant responses of lettuce to progressive drought stress periods. *Plant Science* 1995 ; 110 : 37-44.

27. Davies FT, Potter JR, Linderman RG. Drought resistance of mycorrhizal pepper plants independent of leaf P concentration-response in gas exchange and water relations. *Physiologia Plantarum* 1992 ; 87 : 45-53.

28. Subramanian KS, Charest C. Nutritional, growth, and reproductive responses of maize (*Zea mays* L.) to vesicular mycorrhizal inoculation during and after stress at tasselling. *Mycorrhiza* 1997 ; 7 : 23-5.

29. Ruiz-Lozano JM, Azcon R, Gomez M. Effects of arbuscular-mycorrhizal *Glomus* species on drought tolerance : physiological and nutritional plant responses. *Appl Environ Microbiol* 1995 ; 61 : 456-60.

30. Sylvia DM, Hammond LC, Bennett JM, Haas JH, Linda SB. Field response of maize to a VAM fungus and water management. *Agron J* 1993 ; 85 : 193-8.

31. Osonubi O, Mulongoy K, Awotoye OO, Atayese MO, Okali DUU. Effects of ectomycorrhizal and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on drought tolerance of four leguminous woody seedlings. *Plant and Soil* 1991 ; 136 : 131-43.

Tableau III. Effet de *Glomus aggregatum* sur l'indice de résistance à un stress hydrique (IRS) des quatre arbres fruitiers

Traitement	<i>B. aegyptiaca</i>	<i>P. biglobosa</i>	<i>T. indica</i>	<i>Z. mauritiana</i>
Mycorhizes	0,76 ^a	0,78 ^a	0,75 ^a	0,77 ^a
Non mycorhizes	0,77 ^a	0,76 ^a	1,31 ^b	0,82 ^a

ns : non significatif.

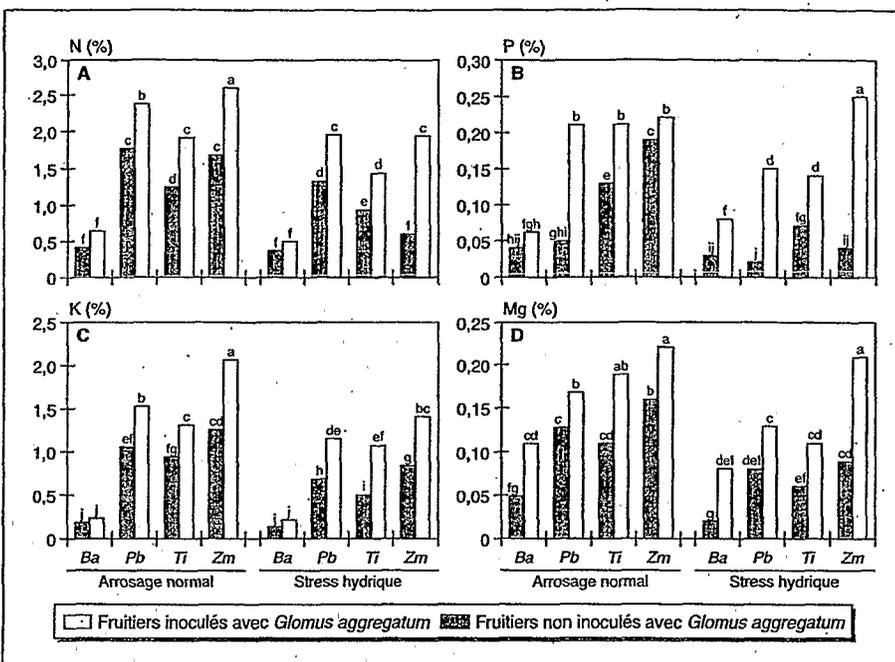


Figure 2. Effets du stress hydrique et de l'inoculation avec *Glomus aggregatum* sur la concentration en N (A), P (B), K (C) et Mg (D) dans les tiges feuillées des fruitiers *Balanites aegyptiaca* (Ba), *Parkia biglobosa* (Pb), *Tamarindus indica* (Ti) et *Zizyphus mauritiana* (Zm) âgés de 6 mois. Fruitiers inoculés (???) ou non (???) avec *Glomus aggregatum*. Les valeurs ayant la même lettre ne sont pas significativement différentes (test de Newman-Keul, $p < 5\%$).

à ceux de *Z. mauritiana*. Il est en revanche assez surprenant de remarquer que l'application de la contrainte hydrique n'affecte pas le taux de mycorrhization des arbres fruitiers avec *G. aggregatum* en accord avec les résultats obtenus par Bryla et Duniway [20] et Schellenbaum et al. [21]. En revanche, Goicoechea et al. [22] ont montré que le stress hydrique réduit le taux de mycorrhization. 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 mycorrhization car le champignon utilise pour son développement des substrats carbonés que lui procure la plante grâce à la photosynthèse. Le fort taux de colonisation des arbres fruitiers par *G. aggregatum* ne se traduit

pas toujours par une consommation en eau plus élevée dans les conditions de l'expérience. En effet, *B. aegyptiaca* qui est l'arbre fruitier le moins colonisé par *G. aggregatum* a une consommation en eau tout à fait comparable à *P. biglobosa* et *T. indica* mycorrhizées. De plus, les plants mycorrhizés de *Z. mauritiana* consomment plus d'eau que *P. biglobosa* et *T. indica* bien que ces trois espèces aient des taux de mycorrhization assez proches quel que soit le régime d'arrosage. Ces résultats ne sont pas en accord avec certains travaux qui montrent que la consommation en eau est d'autant plus importante que le taux de mycorrhization est élevé [23-25]. Par ailleurs, nous avons montré que, dans certains cas (*P. biglobosa* et *Z. mauritiana*), la mycorrhization augmente la surface foliaire et la consommation en eau quel que soit le régime d'arrosage.

Cependant, lorsqu'on compare les arbres fruitiers mycorhizés entre eux, on observe deux cas de figure :

– la surface foliaire de *P. biglobosa* est nettement supérieure à celle de *B. aegyptiaca* et *T. indica* mais ces trois arbres fruitiers ont la même consommation en eau ;

– les surfaces foliaires de *P. biglobosa* et *Z. mauritiana* sont comparables mais ces deux arbres diffèrent quant à leur consommation en eau.

Ces deux cas de figures suggèrent que la consommation en eau est indépendante de la surface foliaire. Ceci nous permet de penser à une forte régulation stomatique que nous n'avons pas mesurée. Cependant nos résultats sont en accord avec ceux de Ruiz-Lozano *et al.* [26] et Davies *et al.* [27].

Nos résultats indiquent également que la mycorhization des arbres fruitiers avec *G. aggregatum* n'améliore pas leur IRS. Il en va de même pour l'EUE qui ne varie pas chez les arbres fruitiers mycorhizés ou non et ceci quel que soit le régime d'arrosage. D'ailleurs, l'EUE n'est corrélée à aucune des variables mesurées (résultats non publiés). Cependant, la mesure de l'EUE a été approchée de manière intégrée dans le temps, ce qui ne rend pas forcément compte de la variabilité de ce paramètre au cours du temps. Une étude de la cinétique de l'EUE est à envisager à l'échelle instantanée en mesurant l'assimilation nette du CO₂. Dans notre expérience, l'hypothèse selon laquelle la mycorhization avec les champignons mycorhiziens à arbuscules augmentent la résistance au stress hydrique [24, 27, 28] n'est pas vérifiée. Cependant, certaines études montrent que les effets du stress hydrique sur l'EUE pourraient varier avec le champignon mycorhizien, la plante hôte, l'intensité et la durée d'exposition des plants au stress hydrique [26, 29, 30].

Chez les trois arbres fruitiers qui dépendent des mycorhizes, *G. aggregatum* a augmenté significativement la nutrition en N, P, K et Mg, et ce quel que soit le régime hydrique. Le régime de stress a, en général, diminué les concentrations en N, P, K et Mg des arbres fruitiers mycorhizés ou non. Cependant, l'accroissement des concentrations en N, P, K et Mg dans les tiges feuillées des plants de *Z. mauritiana* mycorhizés (*versus* les plants de *Z. mauritiana* non mycorhizés) en régime normal est respectivement de

l'ordre de 1,5 ; 1,1 ; 1,5 et 1,1 alors que celui des plants de *Z. mauritiana* mycorhizés en régime de stress est respectivement de l'ordre de 3,3 ; 6,2 ; 1,8 et 2,3. Ceci veut dire que, en valeur relative, la nutrition minérale des plants de *Z. mauritiana* mycorhizés, en particulier celle du phosphore, a été nettement améliorée en régime de stress hydrique. Pourtant, l'accroissement de la nutrition phosphatée des plants de *Z. mauritiana* mycorhizés est indépendant de l'EUE et de l'IRS. Nos résultats ne supporteraient pas l'hypothèse selon laquelle l'effet des mycorhizes sur la tolérance au stress hydrique est lié à une amélioration de la nutrition phosphatée [22, 27, 30, 31].

Conclusion

En conclusion, nos résultats indiquent que l'inoculation avec *G. aggregatum* stimule la croissance et la nutrition minérale des quatre arbres fruitiers qui en sont dépendants, même en situation de stress hydrique. Cependant, la mycorhization n'a pas amélioré l'EUE et l'IRS. Une étude sur la variabilité de la réponse à la tolérance au stress hydrique est à envisager avec différents champignons mycorhiziens et provenances des arbres fruitiers en mesurant dans le temps d'autres paramètres écophysologiques (conductance stomatique, transpiration, CO₂ échangé, teneur en proline, etc.) non mesurés dans le cadre de cette étude

Remerciements

Ce travail a été financé par la Fondation internationale pour la science à Stockholm (Suède), l'Académie africaine pour la science à Nairobi (Kenya) et l'Agence francophone pour l'enseignement supérieur et la recherche (AUF-UREF) dans le cadre d'une allocation de recherche octroyée à M. Guissou par le Fonds francophone de la recherche. Nous remercions le Dr Frédéric Do (IRD, Dakar au Sénégal) pour nous avoir permis de faire des mesures de surface foliaire dans son laboratoire.

Summary

The effects of inoculation with an arbuscular mycorrhizal (AM) fungus, *Glomus aggregatum* Schenck & Smith, on water stress tolerance in four fruit trees, *Balanites aegyptiaca* (L.) Del., *Parkia biglobosa* (Jacq.) Benth., *Tanania indicata* L. and *Zizyphus mauritiana* Lam., was studied in a P-deficient soil (2.18 mg/g P Bray). AM and non-AM pots were irrigated daily to field capacity during the first 4 weeks. Then half of the AM and non-AM pots of each species were maintained at field capacity and the second half subjected to water stress (soil moisture = 12% of the field capacity). After 20 weeks of growth, the triple interaction (mycorrhization x water stress x fruit species) was significant ($p < 0.05$) only for mycorrhizal dependency (MD) and mineral nutrition variables. *Z. mauritiana*, *T. indica* and *P. biglobosa* had the highest root colonization by *G. aggregatum* and total dry mass thus increased significantly irrespective of the watering regime. *G. aggregatum* poorly colonized and did not stimulate total dry mass in *B. aegyptiaca*. This fruit tree showed the lowest MD value (17%), while *Z. mauritiana* showed the highest MD value (20%). Water consumption of AM and non-AM fruit trees was independent of leaf area, irrespective of the watering regime. Mycorrhization did not improve the water stress response index (IRS) and water use efficiency (EUE) in any of the fruit trees. N, P, K and Mg concentrations in shoots of AM *Z. mauritiana* increased under water stressed conditions more than under well watered conditions without affecting IRS and EUE. These results showed that *G. aggregatum* stimulated growth and mineral nutrition of fruit trees but did not improve their stress tolerance.

Résumé

L'influence de l'inoculation par un champignon mycorhizien à arbuscules (MA) *Glomus aggregatum* Schenck & Smith emend. Koske sur la tolérance à un stress hydrique de 4 arbres fruitiers *Balanites aegyptiaca* (L.) Del., *Parkia biglobosa* (Jacq.) Benth., *Lamaridus indica* L. et *Zizyphus mauritiana* Lam. a été étudiée dans un sol déficient en P assimilable (2,18 mg/g de P Bray II). Les pots inoculés ou non ont été maintenus par arrosage quotidien à la capacité du champ pendant les 4 premières semaines. Ensuite, pour chaque espèce, la moitié des pots inoculés ou non continue à être maintenue à la capacité du champ et l'autre moitié a été soumise à un stress hydrique (humidité du sol = 12 % de la capacité du champ). Après 20 semaines de croissance, l'analyse de variance a montré que l'interaction triple mycorhization x stress hydrique x espèces fruitières) a été significative ($p < 0,05$) uniquement pour la dépendance mycorhizienne (DM) et des variables de nutrition minérale. La forte colonisation des racines de

Z. mauritiana, *T. indica* et *P. biglobosa* par *G. aggregatum* a entraîné une augmentation significative de la masse sèche totale des plants quel que soit le régime d'arrosage. *Glomus aggregatum* a colonisé faiblement et n'a pas stimulé la masse sèche totale de *B. aegyptiaca*. La DM de cet arbre fruitier a été faible (17 %) alors que *Z. mauritiana* montre les plus fortes valeurs de DM (70 %). La consommation en eau des arbres fruitiers mycorhizés ou non est indépendante de la surface foliaire quel que soit le régime d'arrosage. La mycorhization n'améliore ni l'indice de résistance au stress hydrique (IRS) ni l'efficacité d'utilisation de l'eau (EUE) chez tous les arbres fruitiers. L'accroissement des concentrations en N, P, K et Mg dans les tiges des plants mycorhizés de *Z. mauritiana* est plus fort en régime de stress qu'en régime normal sans incidence sur IRS et EUE. Ces résultats montrent que *G. aggregatum* n'améliore pas la tolérance au stress des fruitiers mais stimule leur croissance et leur nutrition minérale.

Surveys - Ressources végétales - Forêtierie, agroréforesterie

SCIENCE ET CHANGEMENTS PLANÉTAIRES

SECHERESSE

VOLUME 12
NUMÉRO 2
AVRIL-MAI-JUIN 2001

Synthèse

Une perspective de développement régional autour de l'Office du Niger est-elle enfin envisageable ?

B. Thibaud, F. Brondeau

Notes originales

Statut hydrique de quatre espèces ligneuses soudaniennes dans la forêt de Nazinon, Burkina Faso

B.A. Bationo, S.J. Ouédraogo, D.Y. Alexandre, S. Guinko

Évaluation et cartographie de la vulnérabilité à la pollution de l'aquifère alluvionnaire de la plaine d'El Madher, Nord-Est algérien, selon la méthode Drastic

M.R. Menani

Note prospective

Maîtrise de la croissance démographique, gestion économique de l'eau et sécurité alimentaire
Quelles perspectives d'adéquations futures en Tunisie ?

Y. Zahar

Note méthodologique

Réhabilitation des terres dégradées en Tunisie centro-méridionale : cas du flanc sud-est du djebel Melloussi

A. Daoud, J. Trautmann

Note de recherche

Effets des mycorhizes à arbuscules sur la tolérance à un stress hydrique de quatre arbres fruitiers

T. Guissou, A.M. Bâ, C. Planchette, S. Guinko, R. Duponnois

Étude de cas

Impact de la pollution sur l'unique réseau hydrographique de Casablanca, Maroc

O. Tazi, A. Fahde, S. El Younoussi



www.john-libbey-eurotext.fr

PM 200
30 JUL. 2001

Sc. Environ

ISSN 1147-7806

Cahiers d'études et de recherches francophones