

Effet de l'inoculation des champignons mycorhiziens arbusculaires sur le développement d'*Acacia nilotica* subsp. *adstringens* soumis à différentes concentrations de sel

Effect of the inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi on the development of *Acacia nilotica* subsp. *Adestringens* subjected to various concentrations of salt

Soumaré A.^{1,2}, Manga A.^{1*,2}, Thiao M.², Ndoye I.², Diop T.^{1,2}

Résumé

Le stress salin est l'un des principaux facteurs qui limite le développement des légumineuses comme les acacias dans les régions arides et semi-arides. L'existence d'associations symbiotiques tolérantes au stress salin comme *Acacia nilotica* et champignons mycorhiziens arbusculaires permettrait d'atténuer les effets néfastes du sel sur la productivité des végétaux et de maintenir le couvert végétal des zones affectées.

L'objectif de cette étude conduite en serre était d'évaluer l'effet de quatre champignons mycorhiziens arbusculaires sur le développement de jeunes plants d'*Acacia nilotica* soumis à cinq niveaux de salinité différents.

Les plants mycorhizés ont présenté une meilleure croissance, une biomasse plus importante et un taux de mortalité plus faible à tous les niveaux de salinité comparé aux plants non inoculés soumis aux mêmes concentrations de sel. Cependant, les couples symbiotiques n'ont pas survécu à des taux de salinité atteignant 800 mM de NaCl.

Mots clés :

Acacia nilotica ; Stress salin ; Zones arides et semi-arides ; Champignons arbusculaires

Abstract

Salinity is one of the main factors limiting the development of leguminous plants like acacias in the arid and semi-arid areas. The presence of tolerant symbiotic associations like *Acacia nilotica* - arbuscular mycorrhizal fungi would mitigate the harmful effects of salt on the productivity of the plants and to maintain the vegetation of the affected zones.

The objective of this study carried out in greenhouse was to evaluate the effect of four arbuscular mycorrhizal fungi on the development of young seedlings of *Acacia nilotica* submitted to five different levels of salinity. Inoculated plants had a better growth, a more important biomass and a high survival rate on all the levels of salinity compared with the uninoculated seedlings submitted to the same salt concentrations. However, the symbiotic couples did not survive rates of salinity reaching 800 mM of NaCl.

Key words:

Acacia nilotica ; Saline stress; Arid and semi-arid regions; arbuscular mycorrhizal fungi

¹ Laboratoire de Biotechnologie des Champignons, Département de Biologie Végétale, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta Diop, BP 5005, Dakar, Sénégal.

*Correspondant : *Anicet Manga Tél. 33.849.33.30.*

Email manicet@yahoo.fr

² Laboratoire Commun de Microbiologie IRD/UCAD/ISRA ; Centre de recherche de Bel-Air, BP 1386, CP 18524, Dakar, Sénégal.

1. Introduction

La sécheresse et la salinité constituent des contraintes majeures qui limitent considérablement la production végétale surtout en zones arides et semi arides (Apse *et al.*, [1]). Chaque année la salinité gagne du terrain en raison de l'extension des surfaces irriguées, du fort ensoleillement et de la faible pluviométrie qui contribuent à l'avancée du sel. Près de 1 milliard d'hectares de terres dans le monde ne sont plus utilisables à cause de la salinité (Jain *et al.*, [2]) ce qui représente 7% de la surface de la terre.

Les acacias par leur adaptabilité en conditions extrêmes et leur capacité à développer simultanément des associations aussi bien avec les mycorhizes qu'avec les rhizobiums présentent un intérêt majeur pour la restauration des sols en particulier dans les régions arides et semi arides. Dans la vallée du fleuve Sénégal, *A. nilotica* est une des rares espèces adaptée aux sols salés. Cette légumineuse joue un rôle écologique et économique considérable en offrant ombrage, abri, combustibles et en assurant la fertilisation azotée des sols par le biais de ses potentialités symbiotiques. En effet, cette plante s'associe à des microorganismes du sol tels que les champignons mycorrhiziens et les rhizobiums afin d'améliorer sa nutrition hydrominérale. Plusieurs travaux ont montré que le bon fonctionnement de la symbiose plante - champignon permet une amélioration de la nutrition minérale (Laaziza *et al.*, [3]), une résistance aux stress environnementaux tels que la sécheresse, la salinité, le froid (Dehne, [4] ; Sylvia et Williams, [5] ; Manga, [6]) et une amélioration de l'enracinement et de la floraison. Ces champignons symbiotiques utilisent les hydrates de carbone que les plantes produisent par photosynthèse (Harley et Smith, [7]) et fournissent en échange aux végétaux des substances minérales essentielles et de l'eau. L'exploitation du potentiel symbiotique mycorhizien d' *A. nilotica* pourrait

permettre d'atténuer les effets néfastes du sel sur la survie et la productivité des végétaux tout en maintenant le couvert végétal des zones dégradées (Laaziza *et al.*, [3]).

L'objectif de cette étude est d'une part d'évaluer l'effet de la mycorhization sur le développement de jeunes plants d'*Acacia nilotica* soumis à différentes concentrations de sel et d'autre part de déterminer la capacité maximale de tolérance au NaCl des plantes et le comportement de la mycorhization face à l'augmentation du stress salin.

2. Matériel et méthodes

2.1. Substrat de culture et matériel végétal

Le sol de Sangalkam (Tableau 1) caractérisé par une teneur faible en phosphore assimilable (5,5 ppm), (Ba *et al.*, [8]) a été utilisé comme substrat de culture pour cette expérience. Ce sol a été stérilisé à 120°C pendant 2h.

Tableau 1 : caractéristiques physico-chimiques du sol de Sangalkam

Constituants	Teneur
matière organique	0,60%
carbone total	0,30%
azote total	0,02%
potassium total	333,5ppm
phosphore total	41,4ppm
phosphore assimilable	2,1ppm
calcium total	1,03ppm
magnésium total	0,3ppm
sable	88,80%
argile	5,40%
limon	5,80%
pH (H ₂ O)	6
pH (KCl)	4,6

Le matériel végétal est constitué de graines d'*A. nilotica var adstringens* (provenance Ndiobéne dans la région de Louga). Ces graines, ont été mises à notre disposition

par le projet national de semences forestières (PRONASEF).

Les graines d'*A. nilotica* ont été scarifiées à l'acide sulfurique (H_2SO_4) concentré à 96 % pendant 2h puis ont été abondamment rincées avant d'être imbibées pendant une nuit dans de l'eau distillée stérilisée. Ensuite, elles ont été mises à germer dans des boîtes de Petri contenant de la gélose (0,8 %) et placées à l'obscurité à 30°C pendant 48 heures. Après germination, les plantules ont été repiquées dans des gaines en plastique de capacité 1,5 kg contenant du sol stérile de Sangalkam.

2. 2. Matériel fongique

Le matériel fongique utilisé est constitué de quatre espèces de champignons arbusculaires appartenant à la collection du Laboratoire Commun de Microbiologie (LCM). Cette collection est entretenue par culture régulière avec des plantes mycotrophes comme le maïs (*Zea mays*) dans un substrat de culture constitué de sable grossier de plage. Ce sol se caractérise par sa pauvreté en phosphore. Les champignons utilisés sont : *Glomus mosseae*, *Glomus fasciculatum*, *Glomus intraradices* et *Glomus aggregatum*.

2.3. Dispositif expérimental et inoculation des plants

Le dispositif expérimental adopté est un dispositif en blocs randomisés avec 2 facteurs. Le premier facteur est l'inoculation avec 5 niveaux (témoin, *G. mosseae*, *G. aggregatum*, *G. fasciculatum*, *G. intraradices*) et le deuxième facteur, la salinité avec 5 niveaux (0 mM, 200 mM, 400 mM, 600 mM et 800 mM). Chaque traitement est répété 10 fois soit un total de 250 plants.

L'inoculation a été réalisée au moment de la transplantation des graines prégermées. Chaque plante a reçu 20g d'inoculum placés au niveau du système racinaire des jeunes plantes. L'application de NaCl a été faite après 15 jours de culture. Les plantes

ont été placées en serre et la durée de l'expérience a été de 105 jours.

2.4. Paramètres mesurés

La croissance en hauteur des plantes a été mesurée tous les 15 jours pendant 105 jours de culture. Au terme de l'expérience, les parties aériennes et racinaires des plantes ont été récoltées et séchées à l'étuve (80°C pendant 48h) puis pesées avec une balance de précision afin de déterminer le poids de matière sèche. Le taux de mycorhization a été estimé selon la méthode Trouvelot et al., [9]) après traitement des racines selon la technique Phillips et Hayman [10]). Cette estimation repose sur l'observation de 20 petits fragments fins du système racinaire. Ces fragments prélevés au hasard sont examinés au microscope et notés selon un barème de classe. Ce barème permet d'estimer le degré d'infection mycorhizienne de chaque fragment au moyen de 6 classes notées de 0 à 5. Le taux de mortalité est déterminé en faisant le rapport nombre de plantes mortes après application du stress sur le nombre initial total de plantes $\times 100$.

2.5. Analyse statistique

Les données issues de l'estimation des paramètres étudiés sont soumises à des analyses de variance (ANOVA). Les données en pourcentage ont été transformées en arc sinus avant l'analyse de variance.

3. Résultats

3.1. Croissance en hauteur des plants d'*A. nilotica*

La croissance en hauteur des plants varie suivant la dose de NaCl appliquée et suivant l'espèce de champignons MA inoculée (Figure 1). De manière générale, les plants inoculés ont présenté une meilleure croissance jusqu'au niveau de salinité 600 mM. A la concentration 800 mM de NaCl, aucune mesure de taille n'a été effectuée car le taux de mortalité était de 100%.

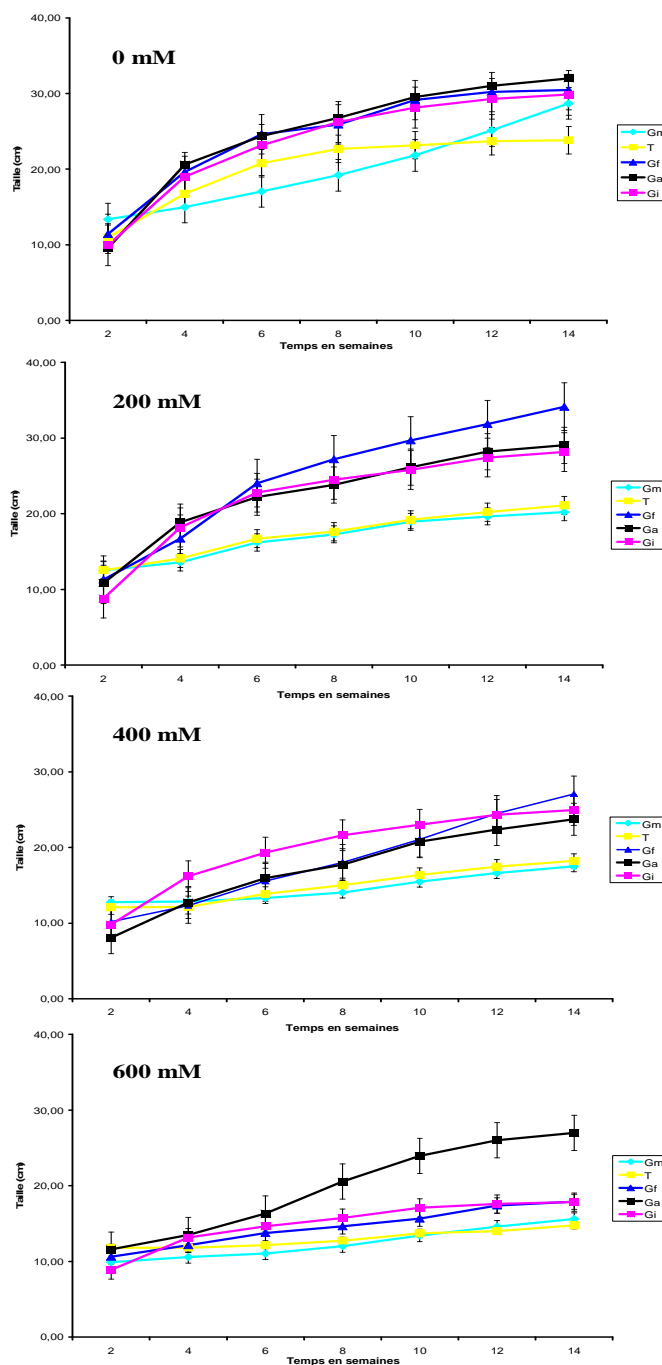


Figure 1 : Influence du NaCl et de la mycorrhization sur la croissance en hauteur des plants d'*A. nilotica*. *Glomus aggregatum* (G.a), *Glomus intraradices* (Gi), *Glomus fasciculatum* (Gf), *Glomus mosseae* (Gm), Témoin (T). Les barres verticales représentent les écarts-types à la moyenne.

J. Sci. Technol.
 Entre 0 et 600 mM de NaCl, la hauteur moyenne des plants inoculés avec *G. aggregatum*, *G. fasciculatum* et *G. intraradices* est significativement plus élevée que celle des plants témoins et celle des plants inoculés avec *G. mosseae*.

A 0 mM de NaCl, les tailles moyennes à la 14^{ème} semaine sont de : 32 ; 31.1; 30.45 et 28 cm pour les plants inoculés respectivement avec *G. aggregatum*, *G. intraradices*, *G. fasciculatum* et *G.*

mosseae. Les plants témoins ont la plus faible moyenne (21 cm).

A 200 mM de NaCl, les tailles moyennes de croissance à la 14^{ème} semaine sont de : 34.15; 29; 28.15 et 19.3 cm pour les plants inoculés respectivement avec *G. fasciculatum*, *G. aggregatum*, *G. intraradices*, et *G. mosseae*. Les plants témoins ont une moyenne de 21,10 cm. La tendance des courbes de croissance au niveau de salinité 400 mM est semblable à celle des courbes obtenues à la concentration de 200 mM dans le substrat de culture.

A 600 mM de NaCl, les courbes de croissance se répartissent en trois groupes suivant la taille moyenne des plants à la 14^{ème} semaine. Les plants inoculés avec *G. aggregatum* montrent des tailles significativement plus élevées avec 28.72 cm, puis le groupe intermédiaire constitué des plants inoculés avec *G. intraradices* et avec *G. fasciculatum* qui ont respectivement 17.83 et 17.875 cm et enfin le groupe constitué des plants témoins et ceux inoculés avec *G. mosseae* avec respectivement 14.7cm et 15.6cm à la 14^{ème} semaine.

Le stress salin a provoqué une diminution de la croissance en hauteur des jeunes plants. Cette diminution a été de 13.9; 9.3 ; 9.6 ; 11 et 7.8% lorsque le niveau de salinité passe de 0 mM à 200 mM pour respectivement les plants témoins non inoculés, les plants inoculés avec *G. aggregatum*, *G. intraradices*, *G. fasciculatum* et *G. mosseae*. De 0 mM à 400 mM, les baisses de croissance sont de 25.2 ; 25.9 ; 19 ; 11 et 20.4% pour respectivement les plants témoins, les plants inoculés avec *G. aggregatum*, *G. intraradices*, *G. fasciculatum* et *G. mosseae*. Enfin, lorsque la concentration en NaCl du substrat passe de 0 mM à 600 mM, les baisses de croissance deviennent plus importantes avec les pourcentages suivantes : 42.9 ; 13 ; 42.5 ; 41.5 et 28%

pour respectivement les plants témoins, les plants inoculés avec *G. aggregatum*, *G. intraradices*, *G. fasciculatum* et *G. mosseae*.

3.2. Effet de la concentration en sel (NaCl) et de la mycorhization sur la production de matière sèche.

La figure 2 montre les résultats de la production de matière sèche en fonction de la concentration en NaCl et du champignon inoculé. Globalement, les plants inoculés ont des poids de matières sèches des parties aériennes plus élevés que ceux des plants témoins.

A 0 mM de NaCl, mis à part les plants inoculés avec *G. fasciculatum*, les plants inoculés avec *G. intraradices*, *G. aggregatum* et *G. mosseae* ne présentent pas de différences significatives comparés aux témoins. Cependant le poids de matière sèche des plants inoculés est légèrement plus élevé. Quant aux poids de matière sèche des racines, les plants inoculés ont des moyennes significativement plus élevées que celles des plants non inoculés.

Avec un niveau de salinité de 200 mM de NaCl, les poids de matière sèche des parties aériennes et des racines des plants inoculés sont significativement plus élevés que ceux des plants non inoculés. Parmi les plants inoculés, ceux qui sont mycorhizés avec *G. fasciculatum* ont donné les plus importantes biomasses aériennes et racinaires (1,4 et 0,49 g respectivement), suivis des plants inoculés avec *G. intraradices* (1,016 et 0,35 g respectivement).

A 400 mM, les plants inoculés avec *G. intraradices* ont des poids de matière sèche plus élevés que ceux obtenus avec les autres traitements (*G. aggregatum*, *G. fasciculatum*, et *G. mosseae*) qui ne montrent pas de différences significatives entre eux aussi bien pour les parties aériennes que pour les racines.

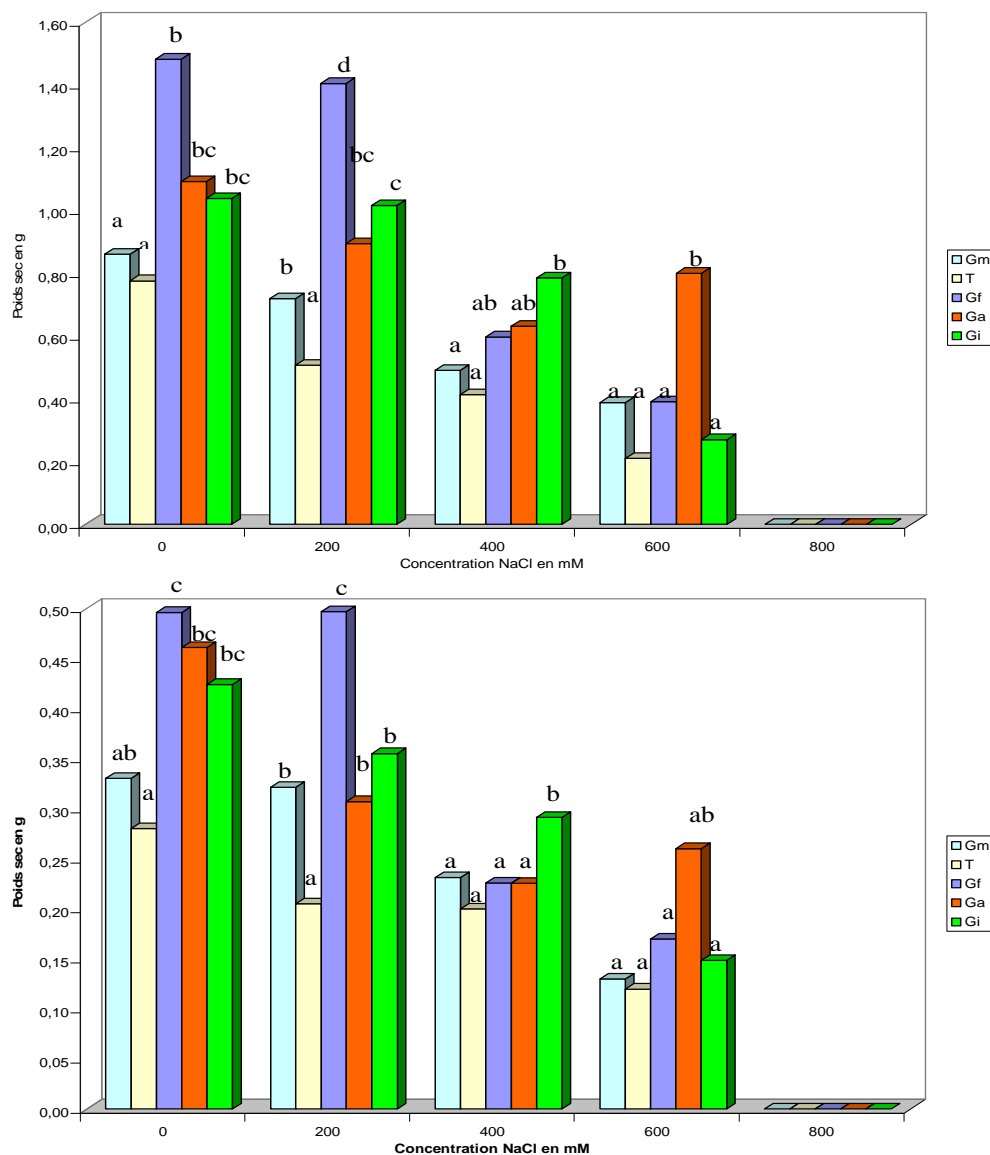


Figure 2 : Effet de l'interaction du NaCl et des champignons MA sur la production de matière sèche des parties aériennes (a) et des racines (b). Les moyennes avec les mêmes lettres pour chaque niveau de salinité ne sont pas significativement différentes au seuil de 95% (test de Newman-Keuls).

A 600 mM, aucune différence significative n'est notée entre traitements en comparant les moyennes des poids de matière sèche des racines tandis que pour les parties aériennes, les plants inoculés avec *G. aggregatum* ont une moyenne de poids de matière sèche significativement plus élevée.

que soit la concentration en NaCl appliquée. Cependant, chez les plants inoculés, les racines ont été colonisées de façon plus ou moins intense suivant la dose de NaCl appliquée à la plante (tableau 2). Les plants soumis au stress salin ont montré des intensités et des fréquences de colonisation généralement plus faibles que les plants non soumis au stress salin.

3.3. Influence du sel sur la mycorhization

Chez les plants non inoculés, l'observation des fragments de racines après coloration à montré une absence de colonisation quelle

Tableau 2 : Influence du sel sur l'intensité et la fréquence de mycorhization d'*A. nilotica*.

NaCl(mM)	Intensité (%)				Fréquence (%)			
	0mM	200mM	400mM	600mM	0mM	200mM	400mM	600mM
Ga	42b	40,8b	10a	3,5a	82,5a	72,5b	32,5a	15a
Gi	35,5ab	12,5a	7,5a	5a	67,5a	37,5a	22,5a	10a
Gf	46,5b	28,6ab	22,5b	8,5a	60,5a	77,5b	60b	17a
Gm	36ab	28,6ab	36b	4a	70a	60b	65b	20a

Les valeurs représentent les moyennes de 4 mesures individuelles. Les intensités sont calculées au seuil de 95%(test de Fisher). Sur une même colonne, les chiffres suivis d'une même lettre ne présentent pas de différences significatives. (Ga : *Glomus aggregatum*, Gi : *Glomus intraradices*, Gf : *Glomus fasciculatum*, Gm : *Glomus mosseae*).

Les intensités et fréquences de mycorhization obtenues en présence des différents traitements ne sont pas significativement différentes entre 0 et 200 mM de NaCl sauf pour les plants inoculés avec *Glomus intraradices* dont les racines montrent des taux de mycorhization moins élevés. A des niveaux de salinité compris entre 400 et 600 mM de NaCl, les intensités et fréquences de mycorhization ne sont pas significativement différentes. Cependant les différences sont significatives en comparaison au niveau de salinité 0mM.

Au sein d'une même concentration en NaCl, les intensités de mycorhization peuvent varier ou non suivant l'espèce de champignon inoculée.

Au niveau 0mM, aucune différence significative n'a été notée entre les différents champignons.

Au niveau de salinité 200 mM, seuls les plants inoculés avec *G. intraradices* et *G. aggregatum* ont présenté des intensités et fréquences de mycorhization significativement différentes.

A la concentration de 400mM de NaCl, les intensités et fréquences sont significativement plus élevées chez les plants inoculés avec *G. mosseae* et *G. aggregatum* comparées aux autres traitements.

A 600mM, aucune différence significative n'apparaît entre les différentes inoculations. Les valeurs représentent les moyennes de 4 mesures individuelles. Les intensités sont calculées au seuil de 95%(test de Fisher). Sur une même colonne, les chiffres suivis d'une même lettre ne présentent pas de différences significatives. (Ga : *Glomus aggregatum*, Gi : *Glomus intraradices*, Gf : *Glomus fasciculatum*, Gm : *Glomus mosseae*).

3.4. Taux de mortalité des plants d'*Acacia nilotica*

Jusqu'au moment de l'application du stress salin (deuxième semaine), le taux de mortalité des jeunes plants d'*A. nilotica* était nul pour tous les traitements (tableau 3). L'évaluation de ce taux de mortalité à la récolte révèle : une mortalité nulle au niveau de salinité 0 mM et 200 mM, une faible mortalité au niveau 400 mM et une forte mortalité au stress sévère (600 mM et 800 mM). Par ailleurs, le taux de mortalité varie suivant le traitement fongique.

Tableau 3 : Taux de mortalité (%) en fonction de la concentration en NaCl

Traitements	Salinité (mM)				
	0	200	400	600	800
<i>G. fasciculatum</i>	0	0	0	60	100
<i>G. mosseae</i>	0	0	0	60	100
<i>G. aggregatum</i>	0	0	10	70	100
<i>G. intraradices</i>	0	0	10	40	100
Témoin	0	0	30	80	100

Le taux de mortalité le plus élevé (30%) au niveau 400 mM est observé chez les plants témoins non inoculés tandis que chez les plants inoculés le taux de mortalité est très faible (10% chez les plants inoculés avec *G. intraradices* et ceux qui sont inoculés avec *G. aggregatum*) voire nul (chez les plants inoculés avec *G. mosseae* et ceux qui sont inoculés avec *G. fasciculatum*).

Au niveau de salinité 600 mM, le taux de mortalité est supérieur ou égal à 40% pour tous les traitements cependant il est plus élevé (80%) chez les plants non inoculés.

Au niveau de salinité 800 mM, le taux de mortalité est de 100% pour tous les traitements (plants inoculés et plants non inoculés).

4. Discussion

4.1. Effet de la concentration en NaCl et des champignons mycorhiziens arbusculaires sur la croissance et la production de matière sèche chez *A. nilotica*

La production de matière sèche est généralement améliorée chez les plants inoculés par rapport aux plants témoins. Des réponses analogues ont été observées chez *Leucaena sp* inoculé avec *Glomus sp* (Dixon et al., [11]), chez le trèfle mycorhizé avec *G. mosseae* (Laaziza et al., [3]) et chez *Acacia seyal* mycorhizé avec différents champignons MA (Manga, [6]).

L'effet bénéfique de l'inoculation est plus marqué lorsque la concentration en sel dans le substrat ne dépasse pas 400 mM. Les fortes intensités de mycorhization à ces niveaux de salinité pourraient contribuer à la nutrition hydrominérale des plants aboutissant au développement de ces dernières (Giri et Mukerji, [12]).

A 600 mM, la réduction de la masse du système racinaire entraînant une perte de sa capacité à absorber les nutriments pourrait expliquer la perte de l'efficacité de la symbiose. En effet, la concentration élevée en sel dans le substrat entraîne un stress

osmotique pour les deux partenaires de la symbiose. Ce qui a pour conséquence une difficulté des plantes à s'approvisionner correctement en eau et en éléments minéraux.

L'augmentation de la masse de matière sèche des racines des plants mycorhizés par rapport aux témoins pourrait être dû à une stimulation du développement du système racinaire pour permettre à la plante de supporter les niveaux de salinité élevés par l'amélioration de sa nutrition hydrominérale. Des cas similaires ont été observés par Jalaludin ([13]) chez les plants de maïs mycorhizés et par Ruiz-Lozano et Azcon [14]), chez la laitue mycorhizée par *Glomus sp*. Le mécanisme de cette stimulation n'est pas connu exactement. Cependant, Allen et al., ([15]) ont signalé une production accrue de phytohormones dans les racines des plantes mycorhizées. Ces régulateurs de croissance interviendraient dans la stimulation de la rhizogénèse.

La comparaison des mesures de taille et de biomasse montre que l'augmentation de la croissance en hauteur n'est pas liée au gain de biomasse. En effet, si les tailles des plants inoculés et des plants non inoculés sont sensiblement les mêmes, nos résultats montrent que les masses de matière sèche correspondantes sont significativement plus élevées chez les plants inoculés. Au niveau 200 mM par exemple, aucune différence significative n'a été notée entre les plants témoins et ceux inoculés avec *Glomus mosseae* pour la croissance en hauteur. Cependant les masses de matière sèches des parties aériennes et des racines sont significativement plus élevées chez les plants inoculés par rapport aux témoins.

4.2. Mycorhization

Les fréquences et les intensités de mycorhization à 0 mM et 400 mM montrent la compatibilité fonctionnelle entre les racines des plants de *A. nilotica* et les champignons mycorhiziens arbusculaires.

À forte concentration en NaCl (600 mM), la baisse de la fréquence et de l'intensité de mycorhization a probablement été accompagnée d'une réduction de la propagation du champignon. En effet, la sensibilité de la croissance des hyphes fongiques au sel entraîne une diminution de leur propagation, de la colonisation mycorhizienne (Ruiz Lozano *et al.*, [16] ; Mc Millen *et al.*, [17]) et une perte de leur viabilité qui peut s'avérer critique pour la survie, la réussite et l'installation de la mycorhization (Estaun, [18] ; Dixon *et al.* [11]). Certains travaux rapportent que la salinité agit dès les premiers stades de l'infection mycorhizienne, soit en retardant le processus d'apparition du tube germinatif soit en inhibant la germination des spores (Hirell et Gerdemann [19]).

4.3 Taux de mortalité des plants d'*Acacia nilotica*

A. nilotica peut tolérer des taux de salinité élevée (jusqu'à 400 mM) surtout lorsqu'il s'associe aux champignons mycorhiziens. La limite de tolérance se situerait aux environs de 600 mM.

Le taux de mortalité élevée, observé à la concentration en sel de 800 mM pourrait être dû au dépassement des limites de tolérances des plantes à la salinité. A ces fortes concentrations, le potentiel hydrique du substrat supposé être plus faible que celui des racines entraînerait une sécheresse physiologique suite à une difficulté des plantes à s'approvisionner en eau.

De cette étude, il ressort donc que la symbiose mycorhizienne augmente la tolérance à la salinité jusqu'à des niveaux de salinité de 400mM. Cependant des recherches complémentaires sont nécessaires pour comprendre le mécanisme d'action de cette symbiose. La valorisation de cette symbiose pourrait constituer un moyen biologique efficace pour la récupération des sols dégradés par la salinisation.

Remerciements

Les auteurs remercient AFORNET (Grant 17/2004) pour son apport financier à la réalisation de ce travail.

Références bibliographiques

- [1] Apse M.P., Dharon G.S., Snedden W.A. Bumerold E. 1999. Salt tolerance conferred by overexpression of a vacular Na⁺/H⁺ antiport in Arabidopsis. *Sci.* **285**: 1256-1258.
- [2] Jain P.K., Paliwal K., Dixon R.K., and Gjerstad D.M. 1989. improving productivity of multipurpose trees on substandard soil in Indiana. *J. for.* **87** : 38-42
- [3] Laaziza B.K., Gomez A.M., Quarraqi El.M., Oihabi A. 2003. Réponse physiologiques et biochimiques du trèfle (*Trifolium alexandinum. L.*) à la double association mycorhizes-rhizobiums sous une contrainte saline. *Agronomie.* **23** : 571-580.
- [4] Dehne J., 1982. Interaction between vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus and plant pathogens, *phyto.* **72** : 1115-1118.
- [5] Sylvia D.M., Williams S.E. 1992. Vesicular-arbuscular mycorrhizae and environmental stress, dans *mycorrhizae in Sustainable Agriculture*, G.J.Bethlenfalvay et R.G. Liderman (éds), ASA special publication Number 54, Wisconsin, *Madison.* pp.101-124.
- [6] Manga A.G.B. 2005. Biodiversité des champignons mycorhiziens arbusculaires d'*Acacia seyal* Del. et évaluation de leurs potentialités symbiotiques en milieu salé. Thèse de Doctorat, Université Cheikh Anta Diop de Dakar. 118 pages.

- [7] Harley L.J. and Smith S.E. 1983. Mycorrhizal symbiosis. *Academic Press*, New York and London, UK.
- [8] Bâ A.M., Sanon K.B., Duponnois R. and Dexheimer j. 1999. Growth response of *afzelia africana* Sm. Seedlings to ectomycorrhiza inoculation in a nutrient deficient soil. *Mycorrhiza*. **9** : 91-95.
- [9] Trouvelot A., Kough, J.L., Gianinazzi-Pearson V. 1986. Mesure du taux de mycorhization VA d'un système racinaire. Recherche de méthode d'estimation ayant une signification fonctionnelle mycorrhizae : Physiology and genetics. ESM Dijon, 1-5. july 1985, Inra Paris.
- [10] Phillips and Hayman. 1970. Improved procedures for cleaning roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus for rapid assessment of infection. *Transaction British Mycological Society* **55** : 93-130.
- [11] Dixon R.K., Rao M.V., Garg V.K. 1993. Inoculation of *Leucaena* and *Prosopis* seedlings with *Glomus* and *Rhizobium* species in saline soil: Rhizosphere relations and seedling growth. *Arid soil, Res. Rehabil.* **7** : 133-144.
- [12] Giri B., Kapoor R., Mukerji K.G. 2003. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi and salinity on growth, biomass, and mineral nutrition of *Acacia auriculiformis*. *Biol. Fertil Soils*. **38** : 170-175.
- [13] Jallaludin M. (1993). Effect of VAM fungus (*glomus intraradices*) on the Growth of sorghum, maize, cotton and pennicetum under salt stress. *Pak. J. Bot.* **25** : 215-218.
- [14] Ruiz-Lozano J.M. et Azcon R. 2000. Symbiotic efficiency and infectivity of an autochthonous arbuscular mycorrhizal *Glomus sp.* from saline soils and *Glomus deserticola* under salinity. *Mycorrhiza* **10**: 137-143.
- [15] Allen M.F., Moore T.S., Christensen M. 1980. Phytohormones change in *Bouteloua gracilis* infected by vesicular-arbuscular mycorrhizae: I. cytokinin increase in the host plant. *Canadian journal of botany*. **58** : 371-374.
- [16] Ruiz-Lozano J.M., Azcon, R., Gomez, M. 1996. Alleviation of salt stress by arbuscular mycorrhizal *Glomus* species in *Lactuca sativa* plants. *Physiol. Plant* **98** : 767-772.
- [17] Millen M.C., Juniper S., Abott L.K. 1998. Inhibition of hyphal growth of a vesicular- arbuscular mycorrhizal fungus in soil containing sodium chloride limits the spread of infection from spores. *Soil Biol Biochem* **30**(13) : 1639-1646.
- [18] Estaun M.V. 1991. Effect of NaCl and manitol on germination of two isolates of the vesicular- arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus mosseae*. Abstracts, 3rd European Symposium on mycorrhizas, University of Sheffield, Sheffield UK.
- [19] Hirel MC., Gerdeman JW. 1980. Improved growth of onion and bell pepper in saline soils by two vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Sci Soc Am J.* **44** : 654-655.