



## Effet de la mycorhization et de la salinité sur la croissance, les réponses biochimiques et la productivité de *Jatropha curcas* L., cultivée sous serre

Malick El Hadji LEYE<sup>1,2\*</sup>, Diouf MACOUMBA<sup>1</sup>, Fatimata NDIAYE<sup>1,3</sup>,  
Diallo BASSIROU<sup>1</sup>, Diagne Halima MAIGUIZO<sup>1</sup> et Diop TAHIR<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA) BP: 3120 Dakar, Sénégal.

<sup>2</sup>Laboratoire de Biotechnologies des Champignons (LBC), Département de Biologie Végétale,  
Université Cheikh Anta Diop, BP: 5005, Dakar Sénégal.

<sup>3</sup>Sénégalaise d'Energies Vertes S.A. (SEV) BP : 440, Louga, Sénégal.

\*Auteur correspondant, E-mail: [elhadjmalickleye@yahoo.fr](mailto:elhadjmalickleye@yahoo.fr), Tel: +221 77 556 82 96

---

### RESUME

Une étude sous serre a été menée afin de déterminer les effets de différentes concentrations de salinité sur la culture d'une provenance locale de *Jatropha* (Nioro) inoculée avec trois souches de champignons mycorhiziens. Après six semaines de repiquage, les plants étaient soumis à un stress salin pendant soixante quatorze (74) jours. Des mesures avaient été effectuées sur la croissance et la biomasse des plants et des analyses réalisées sur l'accumulation de sodium et la teneur relative en eau des feuilles. Les résultats montraient aussi qu'en présence de la mycorhization, *Jatropha* tolérait mieux la salinité jusqu'à 300 mM de salinité et d'eau de mer diluée (50% EM). A des concentrations de 400 mM et d'eau de mer pure (100% EM), les plants n'étaient plus dépendants de la mycorhization. Les observations montraient également que la biomasse des plants inoculés était généralement plus élevée que les plants non inoculés et l'accumulation de sodium qui est négativement corrélée à la teneur relative en eau des feuilles révélait que les champignons pouvaient aider *Jatropha* à ajuster sa physiologie pour atténuer le stress et par conséquent améliorer sa croissance et sa productivité.

© 2012 International Formulae Group. All rights reserved.

**Mots clés:** Pourghère, champignons MVA, NaCl, eau de mer, tolérance.

---

### INTRODUCTION

La sécheresse et la salinité constituent des contraintes majeures limitant considérablement la production végétale au Sahel. Près d'un milliard d'Ha de terre dans le monde ne sont plus utilisables à cause de la salinité (Jain et al., 1989) ce qui représente

7% de la surface de la terre. Skriver et Mundy (1990) rapportent que la salinité est l'un des principaux facteurs qui limitent dramatiquement la croissance et la productivité des plantes.

© 2012 International Formulae Group. All rights reserved.

DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v6i4.30>

Au Sénégal, les sols salés et sulfatés acides sont généralement localisés dans les différents domaines fluvio-marins et côtiers. Dans le bassin du Sine Saloum, la sursalure et l'acidification ont entraîné une extension des tannes aux dépens des terres cultivables. Dans cette zone, la végétation herbacée et arbustive encore présente est très peu dense et peu diversifiée. Les espèces végétales qu'on y trouve sont *Borreria verticillata*, *Tamarix senegalensis*, *Combretum glutinosum*, *Conocarpus erectus* (Sadio, 1991). Ainsi, la réponse des plantes à la salinité varie en fonction de l'espèce. Chez la plupart des plantes, la croissance diminue avec la concentration de sel dans le milieu (Hamrouni et al., 2010) mais, chez d'autres, la croissance est stimulée par les concentrations modérées de sel (Doudech et al., 2008). Cette stimulation est traduite par l'augmentation de la longueur des parties aériennes et/ou des racines, de la production de la matière sèche et de la surface foliaire (Freitas et al., 1993). La réduction de la croissance des plantes par le sel peut s'expliquer par des problèmes ioniques (Epron et al., 1999). Les effets de la salinité sur les plants incluent la toxicité directe due à l'accumulation excessive des ions dans les tissus et au déséquilibre nutritionnel provoqué par l'excès de certains ions.

*Jatropha* est adapté aux sols marginaux peu fertiles et impropres à la culture, avec une faible teneur en éléments nutritifs incluant des sols salés (Heller, 1996). Son système racinaire développé lui permet en effet de mobiliser les éléments des couches profondes du sol. Ce système racinaire, grâce à sa croissance rapide et sa forte ramification, semble également intéressant pour lutter contre l'érosion (Achten et al., 2007).

Lors d'observations réalisées sur l'île de Fogo (Cap Vert), Münch (1986) avait remarqué que la plante n'avait jamais présenté de symptômes de manque d'éléments nutritifs

et en déduit qu'elle possède un système d'absorption particulièrement performant, compte tenu de la pauvreté des sols, notamment en phosphore. Selon lui, des mycorhizes à Vésicules et Arbuscules pourraient jouer un grand rôle, comme c'est le cas pour l'alimentation du Manioc qui est un parent proche de *Jatropha*. C'est ainsi qu'en Inde, Wani et al. (2006) avaient testé l'effet de l'inoculation de graines de *Jatropha* avec une souche locale de champignons mycorhiziens à arbuscules. La croissance des plants inoculés était supérieure à celle des plants non inoculés ainsi que le nombre de feuilles. Sharma (2007) avait également observé que l'inoculation de *Jatropha* avec des mycorhizes augmentaient significativement la mobilisation de phosphore et des autres ions métalliques : aluminium, zinc, chrome, cuivre, fer et plomb. Au Sénégal, des travaux effectués en serre sur plusieurs provenances de *Jatropha* (Leye et al., 2009) ont montré une amélioration significative de la croissance et de la nutrition minérale des biomasses racinaires et aériennes grâce à l'inoculation avec des valeurs atteignant parfois le double des témoins. L'analyse minérale a montré un taux plus élevé de la concentration en phosphore et des micronutriments, tels que l'azote et le potassium.

Cette étude a été menée dans le but d'évaluer l'effet de différentes concentrations de chlorures de sodium et de l'eau de mer sur la croissance, la production de biomasse, l'accumulation de sodium et la teneur en eau dans les feuilles des plants de *Jatropha curcas* L. de la Provenance « Nioro ».

## MATERIEL ET METHODES

L'étude avait été conduite sous serre de culture à la station de l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles et l'Institut de Recherche pour le Développement (ISRA-IRD) située à Bel Air. L'expérience avait

duré cinq semaines sur une période allant de Juillet à Novembre.

#### Matériel végétal et sol

L'essai avait porté sur des plants de *Jatropha* âgés de dix huit mois (Provenance « Nioro ») qui avaient été repiqués dans des pots en plastiques de 35 cm de hauteur et 20 cm de diamètre remplis de sol de la station ISRA Bel Air (Tableau 1) préalablement stérilisé à l'autoclave à 120 °C deux fois pendant 2 h sur deux jours successifs. Une quantité équivalente de 25 g de phosphore avait été apportée comme engrais de fond aux plants de *Jatropha* qui étaient irrigués à raison de 250 ml d'eau de robinet par plant et par jour pour maintenir les pots à leur capacité au champ. Après un temps d'acclimatation qui a duré 10 semaines, les plants avaient été soumis à un stress salin par application de différents traitements à base de chlorure de sodium (NaCl) et d'eau de mer.

#### Matériel fongique

Le matériel fongique utilisé était constitué de trois espèces de champignons mycorhiziens arbusculaires (MVA) appartenant à la collection du Laboratoire Commun de Microbiologie (LCM) de l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD). 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 caractérisait par sa pauvreté en phosphore. Les trois champignons utilisés étaient :

- *Glomus mosseae* (Nicholson & Gerd.Gerd. & Trappe) (DAOM 227131);
- *Glomus fasciculatum* (Thaxter sensu Gerdemann Gerd.) (DAOM227130) ;
- *Glomus aggregatum* (Schenke & Smith emendand. Koske) (DAOM227128).

L'inoculation avait été réalisée au cours de la transplantation des plants dans les gaines.

Chaque plante avait reçu 20 g d'inoculum appliqué contre son système racinaire.

#### Traitement salin

Quarante quatre (44) jours après repiquage, le sel était apporté graduellement (durant une semaine) dans la solution d'irrigation afin d'atténuer le choc osmotique jusqu'à atteindre des concentrations finales 0 mM, 200 mM, 300 mM, 400 mM, 50% EM et 100% EM (50% EM= eau de mer diluée à 50% d'eau distillée et 100% EM= eau de mer pure). L'arrosage était effectué tous les deux jours, pour compenser les pertes dues à l'évapotranspiration mais aussi permettre une lixiviation du sel.

#### Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental adopté était totalement randomisé avec deux facteurs. Le premier l'inoculation avec 4 niveaux (témoin, *G. mosseae*, *G. aggregatum*, *G. fasciculatum*) et le second la salinité avec 6 niveaux (0mM, 200 mM, 300 mM, 400 mM, 50% EM et 100% EM). Chaque traitement était répété 6 fois soit un total de 144 plants.

#### Paramètres de rendement

La croissance relative en hauteur, la biomasse, l'accumulation de sodium, la teneur relative en eau (TRE) avaient été utilisées pour étudier l'effet du stress salin sur le rendement des plants de *Jatropha*.

#### Mesure de la croissance et du rendement

La croissance apicale était mesurée toutes les semaines après application du stress salin et a été stoppée à la date de 108 jours après repiquage.

Pour estimer l'effet de la salinité sur la croissance linéaire, le taux de croissance en hauteur (TCh) et le taux de croissance relatif (TChR) entre les dates 44 et 108 jours après repiquage avaient été déterminés (respectivement date d'application du stress et

date d'arrêt de l'essai) :  $TC_h = (H_f - H_i) / H_i$  et  $TC_{hR} = (TC_{hi} - TC_{hf}) / (T_i - T_f)$  avec : H : hauteur, i : initiale, f : finale aux dates  $T_i = 44$  jours et  $T_f = 108$  jours.

La biomasse de chaque traitement avait été déterminée après séchage dans une étuve à ventilation à 70 °C pendant 48 heures. Des échantillons secs avaient été pesés, puis broyés et ensuite déposés dans un flacon fermé à l'aide d'un bouchon plasma et placés dans un congélateur en attendant l'extraction et les dosages.

La dépendance mycorhizienne des plants de *Jatropha* avait été évaluée en utilisant la formule :  $DM \% = 100 \times [(masse\ sèche\ des\ plants\ mycorhizés - masse\ sèche\ des\ plants\ témoins) / masse\ sèche\ des\ plants\ mycorhizés]$  (Plenchette et al., 1983).

#### **Indice de sensibilité relative au stress salin (ISRS)**

La réponse des plants de *Jatropha* mycorhizés à la salinité avait été évalué à travers la biomasse et l'indice de sensibilité relative au sel (ISRS) qui traduit le rapport de la sensibilité d'un traitement avec le champignon *Gsp.* (exprimée par le déficit relatif de biomasse dû au sel ou DRB) à la sensibilité moyenne de l'ensemble des traitements avec le champignon *Gspp.* ou indice d'intensité de la salinité (IIS) :  $ISRS = DRB / ISS$  (Fischer et al., 1978); avec  $DRB = (BT_t - BT_s) / BT_t$  où BT est la biomasse totale moyenne d'un traitement avec le champignon *Gspp.* donné en l'absence de sel (t) ou sous contrainte saline (s) et  $ISS = (M_t - M_s) / M_s$ . M étant la biomasse totale moyenne de tous les traitements avec le champignon *Gspp.* en l'absence de sel (t) ou sous contrainte saline (s).

#### **Dosage du sodium**

L'accumulation de sodium est induite en réponse au stress de la plante. Le dosage des cations  $Na^+$  avait été fait par absorption

atomique (Laboratoire Central d'Analyses « Sols, Eaux et Plantes » du Centre National de Recherches Agricoles de l'ISRA de Bambey). 4 g de feuilles étaient vaporisés dans une flamme.  $Na^+$  absorbait, à une longueur d'onde spécifique, quand il était sous forme atomique, le rayonnement d'une lampe traversant cette flamme. L'absorption était proportionnelle à la concentration de  $Na^+$  contenue au niveau des feuilles des plants.

#### **Teneur relative en eau (TRE)**

La teneur relative en eau (TRE) des plants est étroitement liée au potentiel hydrique foliaire ( $\Psi$ ) donc un paramètre qui varie en fonction de l'état de stress. Cette teneur relative en eau exprimée en % matière fraîche (MF) est déterminée selon la formule suivante :

$$TRE = 100 \times (M_{MF} - M_{MS}) / (M_{FT} - M_S)$$

$M_{MF}$  : masse de la matière fraîche de l'échantillon,  $M_{MS}$  : masse de la matière sèche de l'échantillon,  $M_{FT}$  : masse de la matière fraîche de l'échantillon à pleine turgescence.

#### **Analyse statistique**

Les données numériques issues de l'estimation des paramètres étudiés avaient été soumises à des analyses de variance (ANOVA) avec le logiciel XLSTAT 2011 (version 13.2). Le test Fischer LSD au seuil de 5% avait été réalisé afin d'identifier le niveau de probabilité de la différence observée entre les moyennes.

### **RESULTATS**

#### **Effet de la salinité et de la mycorhization**

#### **MVA sur la croissance des plants de**

#### ***Jatropha***

#### ***Effet sur la croissance en hauteur***

L'analyse statistique montre que la croissance apicale des plants variait suivant le traitement salin appliqué et aussi suivant l'espèce de champignon inoculée (Figure 1).

En l'absence de traitement salin (0 mM de salinité), la différence de croissance des plants était essentiellement dépendante du traitement mycorhizien (Figure 1a). Ainsi, les plants inoculés avec les champignons Ga, Gf et Gm avaient présenté les croissances les plus élevées en comparaison des plants témoins non inoculés (Figure 1a). Ga avait plus stimulé la croissance avec une moyenne de 15,27 cm à 108 jar suivi de Gf (14,8 cm) et de Gm (14,32 cm).

A 200 mM de salinité, la croissance des plants n'était pas affectée et celle des plants inoculés avec Ga (14,62 cm) a été plus importante à 108 jar (Figure 1b). La croissance apicale des plants témoins a été la plus faible (12,99 cm). Cependant, l'analyse n'avait montré aucune différence significative dans la croissance apicale des plants inoculés avec Gf et Gm à 108 jar qui est en moyenne de 13,65 cm. Avec 300 mM de salinité, nous avons constaté que la croissance des plants décroît significativement ( $p < 0,05$ ) à 108 jar (Figure 1c). En effet, les plants inoculés avec Ga et Gm montraient les croissances les plus élevées avec en moyenne 12,5 cm de hauteur, suivi des plants témoins non inoculés avec une hauteur moyenne de 12,15 cm. La croissance des plants inoculés avec Gf a été la plus faible à la dose de 300 mM. Le traitement avec 400 mM de sel entraîne une réduction importante de la croissance à 108 jar (Figure 1d). Les valeurs de croissance les plus importantes ont été obtenues avec Ga et Gm et ne sont en moyenne que de 11,75 cm à 108 jar contre 11,65 cm à 44 jar (date de première application du stress). La croissance des plants inoculés avec Gf a été la plus faible (10,45 cm) comparée à celle des plants témoins non inoculés qui mesuraient 11,38 cm de longueur.

L'eau de mer diluée (50% EM) avait induit un effet significatif sur la croissance apicale des plants de *Jatropha* à 108 jar (Figure 1e). En effet, après 9 semaines de

traitement salin, les valeurs obtenues étaient de 13,47 cm, 12,89 cm, 12,36 cm et 11,82 cm respectivement pour Ga, Gm, T et Gf.

Le traitement avec de l'eau de mer pure (100% EM) affectait négativement la croissance apicale des plants de *Jatropha* (Figure 1f). En effet, à 108 jar, la croissance avec les plants inoculés avec Ga avait très peu augmenté avec 12,85 cm à 108 jar contre 12,23 cm avant l'application du stress (44 jar). Cette même tendance était observée avec Gm et Gf qui ont été suivis des plants témoins non inoculés dont la croissance est la plus faible.

Nos résultats indiquent également que des concentrations élevées de sel (400 mM et eau de mer pure) affectaient négativement ( $R^2=0,19$ ,  $P < 0,0001$ ) la croissance des plants (témoins et inoculés) de *Jatropha*. Par contre, la mycorhization a positivement affecté ( $R^2=0,19$   $P < 0,0001$ ) la croissance des plants inoculés, indépendamment du traitement salin appliqué. L'effet positif de la mycorhization sur la croissance de *Jatropha* était plus marqué en présence de Ga qu'en présence de Gm et Gf. En résumé, il ressort également que les concentrations élevées de salinité ont un effet négatif sur : les souches de champignons inoculés, Gf était plus sensible à de fortes concentrations de sel que Ga ou Gm ; sur la croissance continue des plants, la croissance apicale des témoins et celle des inoculés avaient atteint leur optimum dans nos conditions expérimentales.

Par ailleurs, l'inoculation MVA était efficace jusqu'à des doses de 300 mM et de 50% EM de salinité. Au delà de ces limites, le sel avait un effet négatif sur nos souches de champignons mycorhiziens en particulier et sur la croissance des plants de *Jatropha* en général.

#### ***Effet sur le taux de croissance linéaire ( $TC_h$ ) et sur le taux de croissance relatif aux témoins non stressés ( $TC_hR$ )***

L'impact du stress salin sur la vigueur des plants a été déterminé à travers le taux de

croissance linéaire ( $TC_h$ ) et le taux de croissance relatif ( $TC_hR$ ) entre les dates de première application du stress (44 jar) et d'arrêt du test (108 jar) (Tableau 2).

Avant application du stress (0 mM), les résultats montraient que les taux de croissance des plants étaient variables et liés essentiellement à la croissance des plants sous l'effet de la mycorhization. Ce taux était généralement plus élevé chez les plants inoculés en comparaison des témoins non mycorhizés. En effet, le  $TC_hR$  était de 39,79% pour Ga et de 32% pour les témoins mais aussi pour Gf. Entre ces deux limites, les taux de croissance enregistrés concernaient les plants inoculés avec Gm ( $TC_hR=35,43\%$ ).

Avec un apport de 200 mM, les taux obtenus variaient très peu sous l'effet du stress induit. Les souches Ga et Gm avaient enregistré les meilleurs gains de croissance (59,69% et 61,47% respectivement) que les plants inoculés avec Gf et les témoins qui avaient un  $TC_hR$  moyen de 48%.

A 300 mM de salinité, les  $TC_hR$  des plants diminuaient sensiblement même en présence de la mycorhization. Le taux le plus élevé avait été noté avec les témoins (41,7%) contre en moyenne 33% pour Ga et Gm et 15,44% pour Gf.

Quand le niveau de stress passait à 400 mM, les taux montraient des pertes en vigueur très significatives ( $p<0,05$ ) des plants qui étaient plus élevée que celles obtenues avec les concentrations précédentes. Même si les  $TC_h$  enregistrés à 108 jar avec Ga et Gm étaient les plus significativement élevés, il n'en était pas le cas avec les  $TC_hR$  où aucune différence significative n'avaient été décelée entre les inoculés et les non inoculés qui avaient une valeur moyenne très faible de 3%.

Les taux de croissance en hauteur ( $TC_h$ ) les plus élevés obtenus avec l'eau de mer diluée (50% EM) étaient notés avec les plants inoculés avec Ga (113,81%) et

contraient avec les  $TC_hR$  enregistrés qui étaient plus élevés chez les témoins non inoculés (41,22%) que chez Ga (35,24%). Le  $TC_hR$  intermédiaire de 31% avait été obtenu avec Gm et Gf.

Le  $TC_hR$  des plants sous l'effet de l'eau de mer (100% EM) était aussi très faible. En effet, la moyenne la plus élevée obtenue avec Ga et Gm (8,6%) était très en deçà de la moyenne des plants non stressés et les Gf et témoins étaient encore les moins vigoureux avec des  $TC_hR$  inférieurs à 5%.

En sommes, nous pouvons dire que jusqu'à 300 mM et 50% EM, la vigueur des plants était peu affectée avec la présence de la mycorhization qui semblerait tolérer le stress salin avec des taux de croissance relative supérieurs en général à 30% à l'exception de Gf ( $RGR=15\%$ ) traités avec 300 mM. Cependant, les niveaux de stress de 400 mM de salinité et l'eau de mer pure (100% EM) entraînent une baisse de ce taux d'un facteur de 10 avec des taux de croissance relatifs inférieurs à 4% et 9% respectivement par rapport aux plants témoins (0 mM). Néanmoins, ce taux est relativement plus élevé (8,6%) chez les plants inoculés avec Ga et Gm sous l'effet de l'eau de mer.

### **Estimation de l'effet de la salinité et de la mycorhization MVA sur les biomasses des plants de *Jatropha curcas* L.**

#### ***Poids sec racinaire (PSR)***

L'analyse statistique du poids sec des racines avait montré un effet significatif de l'effet de la salinité ( $R^2= 0,63$  ;  $P= 0,001$ ) et de la mycorhization ( $R^2= 0,63$  ;  $P<0,0001$ ) sur la biomasse sèche racinaire des plants de *Jatropha* (Tableau 3). Les poids les plus élevés avaient été obtenus entre 0 mM et 200 mM et les poids les plus faibles avec de l'eau de mer pure (100% EM). Cependant, les plants inoculés avec les différents champignons MVA avaient généralement produits les

biomasses les plus élevées quelque soit le niveau de salinité.

En absence de stress, les variations des poids racinaires étaient essentiellement liées à l'inoculation mycorhizienne. En effet, les résultats montraient que les poids des plants inoculés avec Ga et Gf ont été les plus élevés avec plus de 2,5 g suivi des plants inoculés avec Gm (2,18 g) et des témoins non inoculés (1,94 g).

Sous l'effet de 200 mM, 300 mM de salinité et d'eau de mer diluée (50% EM), les poids variaient sous l'effet du stress mais aussi suivant le type d'inoculation mycorhizienne. Les réductions de poids liées au stress salin de 200 mM sont de l'ordre de -35% avec Ga et Gf et environ de -14% pour Gm et T. Cependant, les poids plus élevés étaient obtenus avec Ga et Gm avec en moyenne 1,8 g. Les plants inoculés avec Gf et les témoins non inoculés avaient les biomasses les moins élevées (1,65 g). Par contre, à 300 mM, les poids obtenus avec Gf ont été les plus élevés (1,84 g) et les poids les moins élevés ont été obtenus avec Ga et les témoins. Inversement les pertes les plus importantes sont notées avec Ga (-44%).

L'analyse montre aussi que les plants traités avec l'eau 50% EM et inoculés avec Gm et Gf ont produits plus de biomasse que tous les autres traitements (Ga et témoins) et les pertes les plus élevées enregistrées avec Ga étaient plus de 50% contre seulement 20 et 25% avec Gm et les témoins respectivement.

Ces variations de poids observées entre ces trois niveaux de salinité (200 mM, 300 mM et 50% EM) confirment que l'interaction champignon x salinité était très peu significative ( $R^2= 0,63$  ;  $P= 0,04$ ) sur le poids des racines. Néanmoins, globalement l'inoculation avait généralement atténuée les pertes de poids dues à la salinité.

A des niveaux plus sévères de 400 mM et 100% EM, les résultats des poids obtenus étaient les plus faibles comparés à tous les autres traitements. Les données montraient que l'inoculation MVA n'avait induit aucune

différence significative dans la production de biomasses racinaires chez les plants de *Jatropha*.

En outre, à la dose de 400 mM, un contraste avait été observé entre les poids les plus élevés obtenus avec Ga et les pertes qui étaient aussi plus importantes chez Ga (39%). Elles étaient de 48,26% chez Gm et moyenne de 35% chez Gf et T. Avec l'eau de mer (100% EM), des taux de réduction étaient de 71% pour Ga et 55% pour Gm. Les plants témoins et ceux inoculés avec Gf avaient donnés les biomasses racinaires les plus significativement élevées (1,2 g). Ces données montraient que l'inoculation n'avait pas atténuée le stress induit par ces deux concentrations de sel qui semblaient affecter négativement les champignons MVA et annihiler leur effet améliorateur sur la production de biomasse.

#### **Poids secs aériens (PSA)**

Les résultats de l'analyse statistique des poids secs aériens des plants de *Jatropha* (Tableau 4) montraient un effet hautement significatif de la salinité et des champignons ( $R^2= 0,84$  ;  $P<0,0001$ ) mais aussi de l'interaction salinité x champignons.

En l'absence de stress salin (0 mM), les poids obtenus, dépendant essentiellement de l'effet de l'inoculation, étaient sensiblement plus élevés ( $p<0,005$ ) en faveur de Ga. Les autres traitements (Gm, Gf et T) ne présentaient pas de différence significative entre eux.

A 200 mM de salinité, les plants avaient été faiblement affectés indépendamment de la mycorhization. En effet, les Ga et Gm stressés avaient autant de biomasses que les Gm et Gf non stressés. En outre, les pertes notées avec Gf et les témoins n'excèdent pas 10%.

Aux doses de 300 mM et 50% EM de salinité, les poids des plants avaient été négativement affectés par le stress salin cependant les valeurs dépendaient significativement ( $R^2= 0,84$ ) du type de champignon inoculé. Les biomasses produites sont moins élevées, comparées à celles des

traitements précédents, avec des pertes relatives de près de 27% chez les Ga même si les plants inoculés avaient plus induit la production de biomasse que les plants témoins non inoculés.

Les biomasses les moins élevées avaient été obtenues avec les plants traités avec 400 mM et l'eau de mer (100% EM). Les taux de réduction les plus significatives (enregistrés avec Ga) sont en moyenne 63% à la dose de 100% EM, soit plus de la moitié du poids des plants non stressés. Avec la dose de 400 mM, la mycorhization n'avait aussi induit aucune amélioration de la biomasse.

En sommes, l'accumulation de biomasse est inversement proportionnelle à l'augmentation du niveau de stress. La mycorhization avec Ga et Gm était la plus efficace jusqu'à 300 mM de salinité et 50% EM ; au delà, la production de biomasse au niveau des parties aériennes était considérablement réduite ( $p < 0,005$ ) et les souches de champignons MVA inoculées n'exerçaient aucune influence sur la dose de 400 mM de salinité et sur l'eau de Mer (100% EM).

#### **Indice de sensibilité relative au stress salin (ISRS)**

L'ISRS détermine le niveau de sensibilité des plants de *Jatropha* inoculés avec des champignons mycorhiziens face au stress induit par la salinité (Figure 2). Les résultats montrent que l'indice des plants de *Jatropha* variait de 0,15 jusqu'à 2,44 sous l'effet du niveau de salinité. Les indices les plus faibles étaient notés avec 200 mM de salinité (ISRS < 0,26) et les plus élevés avec l'eau de mer pure (ISRS > 1,6). Entre ces extrêmes, les disparités observées étaient généralement liées au type de champignon inoculé.

Chez les plants stressés avec 200 mM de salinité, le plus faible indice était obtenu avec les plants inoculés avec Gf (0,15). Les autres traitements avaient significativement les indices avec un ISRS de 24 en moyenne.

Ainsi, les plants traités avec 200 mM de sel étaient les moins sensibles au sel avec des indices inférieurs à 0,3 (Gf < 0,15).

Les plants stressés avec 300 mM et 50% EM exhibaient des indices sensiblement égaux ( $p < 0,05$ ) avec des indices compris entre 0,8 et 0,9, à l'exception des Ga stressés avec 300 mM et des témoins stressés avec 50% EM. Les indices obtenus avec ces deux traitements inoculation étaient les plus élevés (ISRS moyenne de 1,2).

A 400 mM de salinité, les indices des plants inoculés avec Gf et des témoins étaient les plus sensibles avec respectivement des valeurs de 1,43 et 1,12. Les plants inoculés avec Ga et Gm étaient les moins sensibles au stress salin (ISRS = 0,65).

Les plants traités avec l'eau de mer étaient les plus sensibles de tous les traitements. Les indices obtenus étaient supérieurs à 1,61 quelque soit l'inoculation. Cependant, les indices les plus élevés avaient été enregistrés avec Gm suivi de Ga. Les plants témoins et inoculés avec Gf étaient les moins sensibles à l'eau de mer. Il ressort ainsi de ces résultats que la sensibilité des plants augmenterait avec la concentration de NaCl dans le milieu de culture. Cependant, cette sensibilité serait atténuée par la présence de champignons MVA.

#### **Dépendance mycorhizienne (DM) des plants de *Jatropha***

Les résultats obtenus relatifs à la dépendance mycorhizienne (DM) des plants de *Jatropha*, soumis à quatre niveaux de salinité, sont présentés dans la Figure 3. Les valeurs mesurées étaient très variables et allaient de +40% à -50% suivant le niveau de salinité mais aussi suivant le type d'inoculation effectué.

Les résultats avaient montré que jusqu'à 300 mM et 50% EM de salinité, les plants de *Jatropha* dépendent significativement de la mycorhization dans les conditions de l'essai. Au delà de ces concentrations de salinité, nous constatons

que seuls les plants inoculés avec Ga et Gm avaient des DM positives à 400 mM de salinité. Par contre, Gf avec 400 mM de salinité, et toutes les autres souches traitées avec de l'eau de mer (100% EM) avaient des dépendances mycorhiziennes inférieures à 0% c'est-à-dire négatives.

Sans stress (0 mM), la DM la plus élevée était obtenue avec le champignon mycorhizien Ga (40,6%) suivi de Gm (27,24%). La DM des plants de *Jatropha* vis-à-vis du champignon Gf, est la moins élevée avec en moyenne 20,66%.

Avec une teneur de 200mM, *Jatropha* présentait une DM plus élevée vis-à-vis des champignons Ga et Gm qui était en moyenne de 15,3% et Gf avait la DM la moins élevée (10,37%).

A 300 mM de salinité, nous constatons que les plants inoculés avec Gm et Gf avaient des DM proche de 39% contre 27,5% pour les plants inoculés Ga. Cependant, ces valeurs étaient plus élevées que celles obtenues avec 200 mM de salinité et 50% EM et les DM les plus élevées obtenues étaient environ de 20% chez les plants inoculés avec GM et en moyenne de 11% chez les Ga et Gf.

En résumé, nous pouvons dire qu'à l'exception des plants traités avec 300mM de salinité, les DM des plants décroissaient quand le niveau de salinité augmentait. Les plants de *Jatropha* avaient des DM élevées avec des concentrations de sel inférieures à 300 mM et 50% EM. Au delà de ces concentrations, les plants de *Jatropha* avaient des DM très faibles où négatives.

#### **Influence du stress salin et de la mycorhization MVA sur l'accumulation de sodium dans les feuilles de *Jatropha curcas* L.**

Pour tous les traitements salins, les résultats de l'ANOVA couplée au test de Fischer LSD, montraient que les teneurs en sodium au niveau des feuilles variaient sensiblement ( $R^2= 0,49$ ,  $p<0,0001$ ) avec

l'apport de sel et sans effet ( $R^2= 0,49$ ,  $p=0,081$ ) avec le traitement MVA. L'interaction salinité x champignon n'avait aussi aucun effet significatif sur les plants de *Jatropha*. Les résultats sont matérialisés à la Figure 4. La concentration en sel (NaCl) du milieu semblait ainsi influencer la teneur en  $Na^+$  dans les feuilles.

En effet, lorsque les plantes étaient soumises à un traitement salin de 200 mM, le taux de sodium accroissait significativement jusqu'à atteindre en moyenne le double des plants non stressés mesuré chez les témoins (4,35  $mg.g^{-1}.MS$ ). Cependant, les teneurs les moins élevées étaient obtenues avec les plants mycorhizés avec en moyenne 3,7  $mg.g^{-1}.MS$ .

A des niveaux de 300 mM et 50% EM, les concentrations en  $Na^+$  augmentaient au niveau des feuilles de *Jatropha* jusqu'à au plus de 5  $mg.g^{-1}.MS$  en moyenne. Chez les témoins non mycorhizés et traités avec de l'eau de mer diluée (50% EM) les teneurs obtenues atteignaient 7  $mg.g^{-1}.MS$  et les plants mycorhizés présentaient généralement les teneurs les moins élevées. Par contre, les témoins arrosés avec 300 mM, avaient enregistré les concentrations les plus faibles.

A 400 mM et 100% EM de salinité, les concentrations les plus élevées étaient enregistrées chez les témoins et chez Gm où les teneurs en sodium des feuilles étaient les plus élevées. En effet, chez ces derniers, les valeurs dépassaient 7  $mg.g^{-1}.MS$  contre 6,8  $mg.g^{-1}.MS$  et 6,95  $mg.g^{-1}.MS$  en moyenne respectivement pour Ga et Gf sous 400 mM de salinité. Les concentrations en  $Na^+$  les plus élevées étaient obtenues avec l'eau de mer (100% EM). Elles atteignaient 7,9  $mg.g^{-1}.MS$  chez les Gf et dépassaient 8  $mg.g^{-1}.MS$  chez les témoins.

En sommes, nous constatons une corrélation positive ( $R^2=0,49$ ,  $p<0,0001$ ) entre le niveau de stress et la teneur en sodium mesurée dans les feuilles de *Jatropha*. Cependant, à l'exception de la dose de 300 mM, les plants mycorhizés avaient enregistrés

des concentrations moins élevées en comparaison des témoins non mycorhizés.

**Influence du stress salin et de la mycorhization MVA sur la teneur relative en eau (TRE) des feuilles de *Jatropha curcas* L.**

L'allure des courbes sur la Figure 5 montre que la teneur relative en eau (TRE) mesurée dans les feuilles de *Jatropha* variait significativement ( $R^2= 0,97$  ;  $p<0,0001$ ) sous l'influence du stress induit par la salinité. Cependant, l'ANOVA n'avait révélée aucun impact de la mycorhization ( $R^2= 0,97$  ;  $p= 0,088$ ) sur la TRE.

En l'absence de stress, aucune différence significative n'était observée entre les plants mycorhizés et les témoins. La TRE moyenne mesurée dans les feuilles était de l'ordre de 76% quelques soit le traitement. Sous l'effet de 200 mM de salinité, la TRE diminue jusqu'à 70% pour les témoins et pour Gf, mais elle est significativement plus élevée avec Ga et Gm ( $TRE>72\%$ ).

Quand le stress passe à 300 mM et 50% EM, les TRE diminuaient sensiblement avec les témoins et moins avec les plants mycorhizés. Les teneurs les plus élevées

étaient d'ailleurs notées avec Ga et Gf avec respectivement 70,71% pour la dose 300 mM et 73,76% pour 50% EM. Les TRE étaient moins élevées avec Gm et les témoins.

A 400 mM de salinité et en présence d'eau de mer, les TRE au niveau des feuilles diminuaient encore considérablement ( $p<0,005$ ) avec des pertes en eau de plus de 10% chez tous les plants. Ainsi, à l'exception des Ga stressés avec 400 mM, aucune différence n'était observée chez les témoins et les autres plants inoculés (avec Gf et Gm).

A travers ces résultats, nous pouvons ainsi affirmer que les TRE des plants de *Jatropha* décroissaient sensiblement quand la concentration en NaCl dans le milieu augmentait. Cependant, cette diminution variait en présence de la mycorhization jusqu'à des concentrations de 300 mM et 50% EM de salinité. Par contre, à des stress beaucoup plus sévère (100% EM et 400 mM) l'inoculation n'avait révélé aucun effet positif tendant à améliorer la teneur relative en eau des feuilles de *Jatropha* qui diminuait.

**Tableau 1 :** Caractéristiques physico-chimiques du sol de Bel-Air.

Composants	Teneur pour 100g de sol
Sable fin	66,5%
Sable grossier	24,5%
Limon fin	1,80%
Limon grossier	2%
Argile	5,20%
Matière organique	0,62%
Carbone total	0,36%
Azote total	0,44%
C/N ratio	8,18
Phosphore assimilable (ppm)	39,55
pH (sol/eau ratio 1:2)	8,20

Source: (Sarr, 2000; Diop et al., 2003)

**Tableau 2:** Effet de la salinité et de l'inoculation avec les champignons MVA sur le taux de croissance en hauteur (TCh) et le taux de croissance relatif (TChR) des plants de *Jatropha* entre les dates 44 jar et 108 jar.

Salinité	Champignons	TCh <sub>h</sub> 44 jar	TCh <sub>h</sub> 108 jar	TChR %
0 mM	T	58.31d	90.42d	32.11e
	Ga	75.35a	115.07ab	39.72c
	Gm	66.30c	98.61c	32.31e
	Gf	71.85c	107.28b	35.43d
200 mM	T	40.44f	90.00d	49.56b
	Ga	68.75c	128.44a	59.69a
	Gm	60.66d	122.13a	61.47a
	Gf	58.61d	106.19b	47.58b
300 mM	T	36.71g	78.41ef	41.7c
	Ga	59.75d	93.24d	33.49de
	Gm	43.77f	76.63f	32.86e
	Gf	49.41e	64.85g	15.44f
400 mM	T	42.66f	46.15h	3.49i
	Ga	71.32c	74.26f	2.94i
	Gm	76.07b	79.69ef	3.62i
	Gf	61.59d	64.93g	3.34i
50% EM	T	30.92g	72.14f	41.22c
	Ga	78.57b	113.81ab	35.24d
	Gm	65.14cd	97.09c	31.95e
	Gf	56.15de	86.44e	30.29e
100% EM	T	44.8f	48.32h	3.52i
	Ga	69.39c	77.98ef	8.59g
	Gm	61.38d	70.04f	8.66g
	Gf	58.24d	63.13g	4.89h

Les chiffres suivis de la même lettre ne sont pas significativement différents au seuil de 5% du test de Fischer LSD.

**Tableau 3** : Poids secs racinaires des plants de *Jatropha curcas* L. en fonction du traitement salin et de l'inoculation mycorhizienne arbusculaire après 64 jours de traitement salin.

Traitements	Ga	Gf	Gm	T
0 mM	2.64 a	2.59 a	2.18 b	1.94 b
200 mM	1.75 c	1.63 d	1.85 c	1.67 d
300 mM	1.46 h	1.84 c	1.59 e	1.47 h
400 mM	1.59 e	1.34 f	1.38 f	1.27 f
50% EM	1.17 g	1.71 d	1.74 c	1.44 g
100% EM	0.76 i	1.22 g	0.96 h	1.17 g

Les chiffres suivis de la même lettre ne sont pas significativement différents au seuil de 5% du test de Fischer LSD.

**Tableau 4** : Poids secs aériens des plants de *Jatropha curcas* L. en fonction du traitement salin et de l'inoculation mycorhizienne arbusculaire après 64 jours de traitement salin.

Les Traitements	Ga	Gf	Gm	T
0 mM	7,83 a	6,98 b	7,17 b	6,86 b
200 mM	7,11 b	6,68 c	6,82 b	6,48 c
300 mM	5,72 d	5,40 e	5,81 d	5,48 e
400 mM	4,12 g	4,07 g	4,21 g	4,06 g
Mer100	2,85 i	3,36 h	3,40 h	4,28 g
Mer50	5,66 de	5,19 ef	5,89 d	4,97 f

Les chiffres suivis de la même lettre ne sont pas significativement différents au seuil de 0,05 du test de Fischer LSD.

#### Corrélation entre la salinité, les champignons MVA et les variables mesurées

Les relations entre nos variables sous l'influence de la salinité et des champignons MVA ont été déterminées par la méthode de corrélation de Pearson. Les résultats sont présentés dans le Tableau 5. Les tests montrent que les valeurs de l'indice de sensibilité relative au stress (ISRS) étaient fortement corrélées à tous les autres variables à l'exception des teneurs en sodium et en eau relative des plants inoculés avec Gm.

Les données montraient également que la teneur en Sodium et l'ISRS étaient négativement corrélés aux autres paramètres exception faite pour les souches Gf, GM et les témoins. En effet, les tests effectués ne montraient pas de relation significative entre les variables TRE et PSR d'une part et Na<sup>+</sup>

d'autre part chez les Gf. Chez les Gm, les variables TRE et Na<sup>+</sup> n'étaient pas également corrélés à la variable ISRS. Enfin chez les témoins, l'ISRS n'était pas corrélé à la variable TRE.

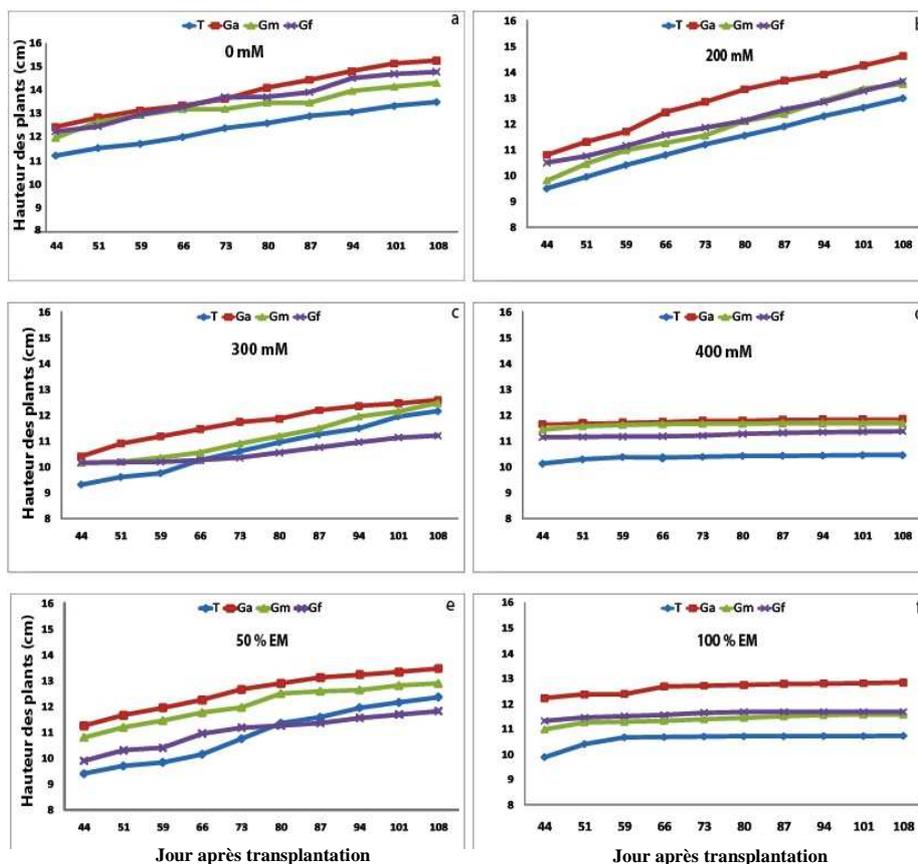
En outre, les résultats des tests obtenus ne montraient aucune corrélation entre TChR et les autres variables mesurées chez les variables des témoins. Par contre, il était fortement corrélé dans le cas des plants inoculés avec Gm et très peu dans le cas des Gf et Ga.

De même, les biomasses (PSR et PSA) étaient généralement fortement corrélées aux autres variables mesurées sauf pour la TRE des Ga et la TChR des plants inoculés avec Gf et des témoins.

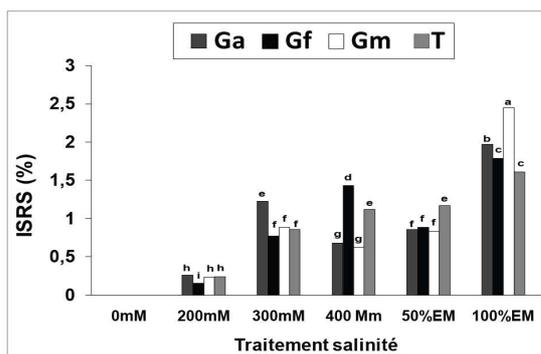
**Tableau 5** : Corrélation entre la salinité, les champignons MVA et les variables mesurées au seuil de 5% (Pearson).

<b>Variables</b>	<b>TRE</b>	<b>PSA</b>	<b>PSR</b>	<b>Na+</b>	<b>ISRS</b>	<b>TC<sub>h</sub>R</b>
<b><i>G. aggregatum</i></b>						
TRE	1	0,925s	0,809ns	-0,841s	-0,815s	0,671ns
PSA		1	0,825	-0,936s	-0,855s	0,858s
PSR			1	-0,894s	-0,882s	0,452ns
Na+				1	0,856s	-0,754ns
ISRS					1	-0,590ns
TC <sub>h</sub> R						1
<b><i>G. fasciculatum</i></b>						
TRE	1	0,857s	0,916s	-0,770ns	-0,857s	0,575ns
PSA		1	0,813s	-0,954s	-1,000s	0,826s
PSR			1	-0,764ns	-0,814s	0,403ns
Na+				1	0,953s	-0,726ns
ISRS					1	-0,825s
TC <sub>h</sub> R						1
<b><i>G. mosseae</i></b>						
TRE	1	0,867s	0,883s	-0,780ns	-0,601ns	0,812s
PSA		1	0,965s	-0,884s	-0,834s	0,894s
PSR			1	-0,881s	-0,900s	0,816s
Na+				1	0,767ns	-0,814s
ISRS					1	-0,660ns
TC <sub>h</sub> R						1
<b>Témoins</b>						
TRE	1	0,852s	0,915s	-0,813s	-0,778ns	0,715ns
PSA		1	0,958s	-0,950s	-0,937s	0,737ns
PSR			1	-0,974s	-0,957s	0,639ns
Na+				1	0,980s	-0,600ns
ISRS					1	-0,610ns
TC <sub>h</sub> R						1

TRE : teneur relative en eau, PSA : poids sec aérien, PSR : poids sec racinaire, Na<sup>+</sup> : teneur en sodium, ISRS : indice de sensibilité relative au stress salin, TC<sub>h</sub>R : taux de croissance relatif, n= significatif; ns=non significatif.

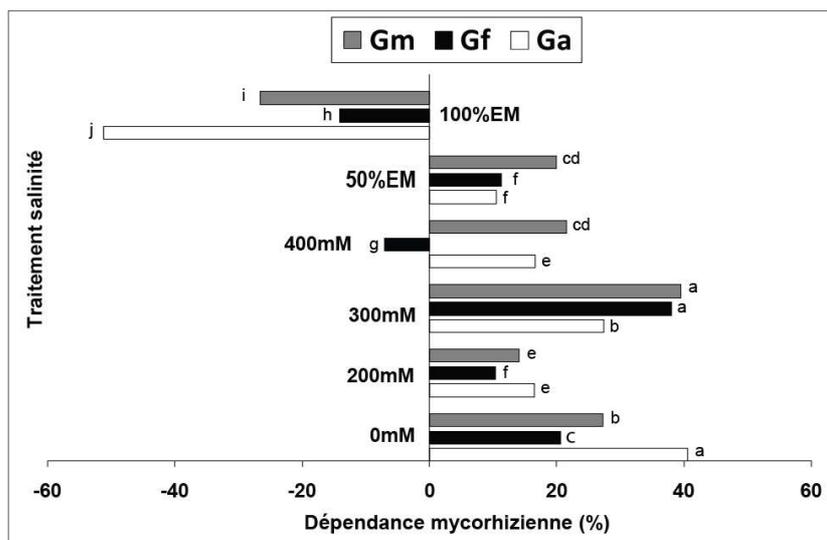


**Figure 1:** Evolution de la croissance des plants de *Jatropha curcas* L. inoculés avec des champignons MVA entre 44 et 108 jours après repiquage. Ga : *Glomus aggregatum*, Gf : *G. mosseae*, Gf : *G. fasciculatum* et T : Témoin) et traités avec six concentrations de salinité a :0 mM, b :200 mM, c :300 mM d :400 mM, e :eau de mer diluée à 50% d'eau distillée (50%EM), f :eau de mer pure (100%EM).



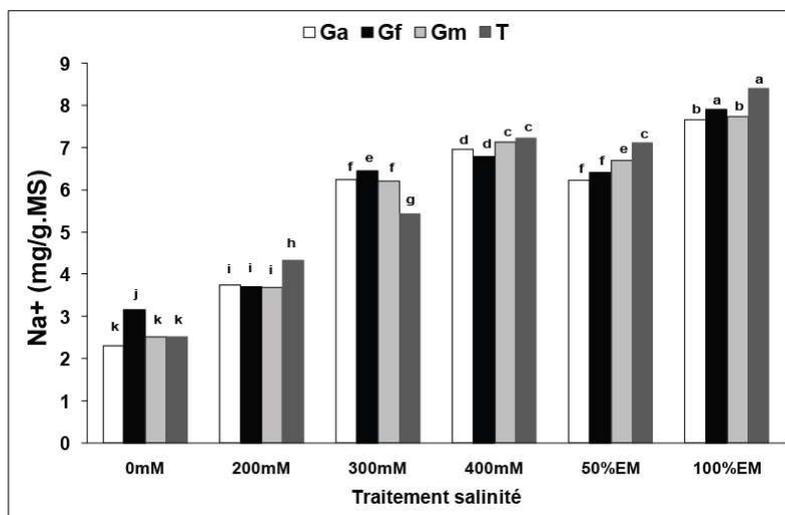
Les barres suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% du test de Fischer LSD.

**Figure 2:** Indice de sensibilité relative au stress salin (ISRS) des plants de *Jatropha* en fonction de l'inoculation après 64 jours de traitement salin.



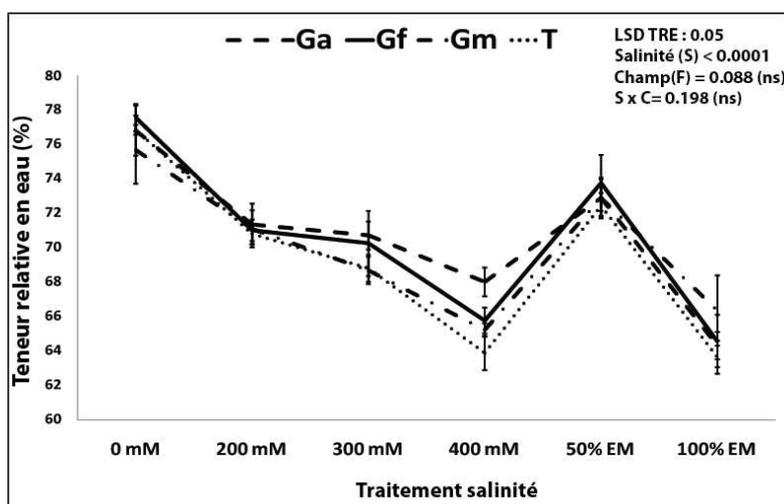
Les barres suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% du test de Fischer LSD.

**Figure 3:** Dépendance mycorhizienne des plants de Jatropha en fonction de l'inoculation MVA après 64 jours de traitement salin.



Les barres suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% du test de Fischer LSD.

**Figure 4:** Teneur en sodium des plants de Jatropha en fonction de l'inoculation MVA après 64 jours de traitement salin.



**Figure 5:** Teneur relative en eau des plants de *Jatropha* en fonction de l'inoculation MVA après 64 jours de traitement salin.

## DISCUSSION

Les résultats sur la croissance apicale et sur la biomasse des plants montrent que *Jatropha* tolère le stress salin jusqu'à 200 mM. Cependant, la présence de mycorhization MVA améliore pour la plupart la croissance et la biomasse à des niveaux de stress supérieurs de 300 mM et 50% EM. Nos résultats sont confortés par d'autres travaux similaires qui avaient ainsi montré l'effet bénéfique des champignons mycorhiziens arbusculaires sur la tolérance aux stress salin (Turkmen et al., 2005). Cependant, lorsque le niveau de salinité atteint 400 mM ou en présence d'eau de mer pure (100% EM), La croissance des plants est inhibée ou considérablement ralentie. Cela peut s'expliquer par la perte de l'efficacité de la symbiose. En effet, la concentration élevée de 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 élément minéraux. Ces résultats sont étayés par les travaux de Soumaré et al. (2008) sur

*Acacia nilotica* subsp *astringens* L. La différenciation sur les résultats obtenus avec les souches Ga, Gm et Gf comparés aux témoins montrait une préférence de *Jatropha* vis-à-vis des champignons MVA. En effet, lors d'étude antérieure sur la mycorhization de *Jatropha*, les réponses obtenues avec la Provenance « Nioro » avaient montré une préférence vis-à-vis de la souche Gm (Leye et al., 2009). A des niveaux tolérables, les productions en matière sèche sont généralement améliorées chez les plants inoculés par rapport aux plants témoins. Des réponses analogues avaient été signalées dans le cas de *Leucaena* avec *Glomus* sp (Dixon et al., 1993), sur le trèfle mycorhizé avec *G. mosseae* (Laaziza et al., 2003) et dans le cas de *Acacia seyal* L. mycorhizé avec plusieurs souches de champignons MVA (Manga, 2005).

Jalaludin (1993) chez les plants de maïs mycorhizés et Ruiz- Lozano et Azcon (2000) chez la laitue mycorhizée par *Glomus* sp avaient montré également que l'augmentation des biomasses racinaires des

plants mycorhizés par rapport aux témoins pourrait être due à une stimulation du développement racinaire pour permettre à la plante de supporter les niveaux de salinité élevés par amélioration de sa nutrition hydrominérale. Cependant, le mécanisme de cette stimulation n'est pas bien connu. En effet, Allen et al. (1980) avaient signalé une production accrue de phytohormone dans les racines des plantes mycorhizées, et pensaient que ces substances pouvaient intervenir dans la stimulation de la rhizogénèse. Ceci est confirmé par la tolérance des plants de *Jatropha* en présence de champignons MVA à des niveaux de salinité allant jusqu'à 300 mM et 50% EM.

Par ailleurs, si les plants de *Jatropha* avaient des dépendances mycorhiziennes significatives vis-à-vis des champignons Ga, Gf et GM, nous avons constaté que cette dépendance avait tendance à diminuer sous l'effet du sel jusqu'à s'annuler à des stress sévères (400 mM et 100% EM) indépendamment de la présence ou l'absence des champignons mycorhiziens. Cette régression est expliquée clairement avec la perte de biomasse sous l'effet du sel même si cette DM des plants reste significatif à des stress modérés ( $\leq 300$  mM et 50% EM). La cause principale de cette diminution pourrait être la pression osmotique négative causée par le sel dans la zone racinaire (Jacoby, 1994) ou bien l'inhibition de la croissance causée par un dysfonctionnement de la fonction de transpiration des cellules des feuilles (Tuteja, 2007).

Les résultats avaient également montré une accumulation de sodium ( $\text{Na}^+$ ) dans les feuilles qui croissait sensiblement avec la concentration de sel comme noté par d'autres travaux (Parida et al., 2005) qui relataient que la présence de  $\text{Na}^+$  dans le milieu nutritif entraînait une compétition dans l'absorption des autres ions plus particulièrement le

Potassium ( $\text{K}^+$ ). La carence de ce dernier entraînant un déséquilibre nutritionnel.

Il a été le plus souvent admis que les champignons MVA amélioreraient l'absorption des plantes mycorhizées en conditions de salinité (Zandavalli et al., 2004), ainsi il ressort de nos résultats que les plants de *Jatropha* inoculés avec des champignons MVA avaient généralement des teneurs en sodium moins élevées que les plants témoins à des niveaux de salinité modérés (jusqu'à 300 mM et 50% EM).

Par contre, d'autres études avaient rapporté que la colonisation fongique n'a aucun effet significatif sur la concentration en  $\text{Na}^+$  dans la plante (Mohammad et al., 2003). En s'appuyant sur nos résultats et sur les travaux similaires existants, nous pouvons dire que la tolérance au sel des plants était en grande partie liée à la présence de champignons MVA qui amélioraient la nutrition des plantes en condition de stress salin.

L'eau est la ressource la plus indispensable au développement des végétaux en leur assurant leurs fonctions physiologiques vitales. Ainsi, les plantes présentes sur des surfaces sèches ou salées vont se retrouver exposées à un stress hydrique important, contre lequel elles devront lutter pour survivre. Dans le cas d'un stress salin, le végétal fait face à l'absorption de sel dans les tissus qui menace le bon fonctionnement physiologique des cellules en abaissant le potentiel hydrique au niveau des racines au détriment de l'approvisionnement en eau. Ce fait a été bien établi chez le coton et le haricot par Hoffman et Phene (1971) et expliqué par nos travaux qui montraient en effet que la présence de sel même à faible dose (200 mM) induisait une diminution de la teneur relative en eau (TRE) probablement par ajustement osmotique et diminution de la transpiration qui s'opposent à toute résistance

au transport de l'eau comme rapporté pour la première fois par Strogonov (1964). La conséquence de cette diminution de la transpiration est la réduction de l'absorption hydrique par les racines. Cependant, il a été démontré que la symbiose établie entre les champignons MVA et *Jatropha* améliore l'absorption en eau (Abdella et Abdel-Fattah, 2000). Dans nos résultats, nous avons montré que la mycorhization peut influencer significativement la relation plante-eau en modifiant l'équilibre osmotique des cellules (Rosendhal et Rosendahl, 1991).

Enfin, les plants de *Jatropha* stressés avec l'eau de mer étaient plus sensibles au stress salin que tous les autres plants stressés avec la salinité jusqu'à 400 mM. Ceci pourrait s'expliquer par le fait l'eau de mer contient d'autres minéraux et sels susceptibles d'amplifier le stress et ainsi causer d'autres dommages aux plants.

### Conclusion

Dans cette étude nous avons évalué l'effet de la mycorhization sur la tolérance au stress salin de plants de *Jatropha curcas* L. de la Provenance « Nioro ». Nous avons constaté qu'en l'absence de champignons MVA, les plants de *Jatropha* tolèrent des concentrations de salinité jusqu'à 200 mM. Cependant, la présence de la mycorhization a permis dans certains cas d'accroître la croissance jusqu'à des concentrations de 300 mM de sel et même des concentrations de 50% d'eau de mer. A des stress plus sévères, de 400 mM, les résultats obtenus montraient que les croissances sont inhibées avec une augmentation de l'accumulation de Sodium et une réduction de la teneur relative en eau dans les feuilles de *Jatropha curcas* L. Cependant, à l'exception de quelques paramètres relevés, la mycorhization a joué un rôle significatif dans la tolérance des plants de *Jatropha*

soumis à des stress salins modérés (inférieur à 300 mM et 50% EM).

Cette étude mérite d'être rapportée à une plus grande échelle pour comparer nos résultats obtenus en conditions contrôlées avec ceux qui seront obtenus au champ ou en station de culture.

### RÉFÉRENCES

- Abdella ME, Abdel-Fattah GMA. 2000. Influence of the endomycorrhizal fungus *Glomus mosseae* on the development of peanut pod rot disease in Egypt. *Mycorrhiza*, **10**: 29–35.
- Achten WMJ, Verchot L, Franken YJ, Mathijs E, Singh VP, Aerts R, Muys B. 2007. Biodiesel from *Jatropha*: the life cycle perspective. Expert Seminar on *Jatropha curcas* L. Agronomy and Genetics, Fact Foundation, Wageningen.
- Allen MF, Moore TS, 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.
- Diop TA, Wade TK, Diallo A, Diouf M, Gueye M. 2003. Solanum cultivar responses to arbuscular mycorrhizal fungi: growth and mineral status. *African Journal of Biotechnology*, **2**(11): 429-443.
- Dixon RK, Garg VK, Rao MV. 1993. Inoculation of *Leucaena* and *Prosopis* seedlings with *Glomus* and *Rhizobium* species in saline soil: rhizosphere relations and seedlings growth. *Arid Soil Res. Rehabil.*, **7**: 133–144.
- Doudech N, Mhamdi M, Bettaieb T, Denden M. 2008. Tolérance à la salinité d'une graminée à gazon: *Paspalum notatum* Flügge. *Tropicultura*, **26**(3): 182-185.
- Epron D, Toussaint ML, Badot PM. 1999. Effect of sodium chloride salinity on root

- growth and respiration in oak seedlings. *Annals of Forest Science*, **56**: 41-47.
- Fisher RA, Maurer R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Aust. J. Agric. Res.*, **29**: 897-912.
- Hamrouni L, Hanana M, Khouja ML. 2010. Évaluation de la tolérance à la salinité du myrte (*Myrtus communis*) aux stades germinatif et plantule. *Botany*, **88**: 893-900.
- Heller J. 1996. Physic nut. *Jatropha curcas* L. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 1. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben/ International Plant Genetic Resources Institute, Rome.
- Hoffman GJ, Phene CJ. 1971. Effect of constant salinity levels on water use efficiency of bean and cotton. *Trans. ASAE*, **14**: 1103-1106.
- Jacoby B. 1994. Mechanisms involved in salt tolerance by plants. In *Handbook of Plant and Crop Stress*, Pessarakli M (ed). Marcel Dekker: New York; 97-123.
- Jain RK, Paliwal K, Dixon RK, Gjerstad DH. 1989. Improving productivity of multipurpose trees on substandard soils in India. *Journal of Forestry*, **87**: 38-42.
- Leye EHM, Ndiaye M, Ndiaye F, Diallo B, Sarr AS, Diouf M, Diop T. 2009. Effet de la mycorhization sur la croissance et le développement de *Jatropha curcas* L. *Revue des Energies Renouvelables*, **12**(2): 269-278.
- Manga AGB. 2005. Biodiversité des champignons mycorhiziens arbusculaires d'*Acacia seyal* Del. et évaluation de leurs potentialités symbiotiques en milieux salés. Thèse de Doctorat, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 118 p.
- Mohammad MJ, Malkawi HI, Shibli R. 2003. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and phosphorous fertilization on growth and nutrient uptake of barley grown on soils with different levels of salts. *J. Plant Nutr.*, **26**: 125-137.
- Parida AK, Das AB. 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: A review. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, **60**: 324-349.
- Plenchette C, Furlan V, Fortin A. 1983. Responses of endomycorrhizal plants grown in a calcined montmorillonite clay to different levels of soluble phosphorus. I. Effect on growth and mycorrhizal development. *Canadian Journal of Botany*, **61**: 1377-1383.
- Rosendahl CN, Rosendahl S. 1991. Influence of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi (*Glomus* sp.) on the response of cucumber (*Cucumis sativa* L.) to salt stress. *Environmental and Experimental Botany*, **31**: 313-318.
- Ruiz-Lozano JM, 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.
- Sadio S. 1991. Pédogenèse et potentialités forestières des sols sulfatés acides salés des tannes du Sine-Saloum, Sénégal. Thèse Doct, Ed. ORSTOM, 283 p.
- Sarr Amadou. 2000. Contribution à l'étude des *Pseudomonas* fluorescents de la mycorrhizosphère de *Ziziphus mauritiana* Lam. Mémoire d'études approfondies, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, p. 51.
- Sharma NN. 2007. *Jatropha* Soil Conditions & Fertilization - Reclamation of ash ponds and cultivation of *Jatropha curcas* using arbuscular mycorrhizal fungi as technology demonstration for biofuel production and environmental cleaning in Chattisgarh state. Expert Seminar on *Jatropha curcas* L. Agronomy and Genetics, Wageningen.

- Skriver K, Mundy J. 1990. Gene expression in response to abscisic acid and osmotic stress. *Plant Cell*, **2**: 503-512.
- Soumaré A, Manga AGB, Thiao M, Ndoye I, Diop TA. 2008. Effet de l'inoculation des champignons mycorrhiziens arbusculaires sur le développement de *Accacia nilotica* subsp astringens soumis à différentes concentrations de sel. *Journal des Sciences et Technologies*, **7**(1): 74-83.
- Strogonov BP. 1964. *Physiological Basis of Salt Tolerance of Plants as Affected by Various Type of Salinity*. Oldbourne Press: London; 163-204.
- Suhas P, Wani TST. 2006. Biodiesel-based opportunities to rehabilitate degraded lands and income generation. Presentation Biopower Wanietal Biodiesel, I. ICRISAT.
- Turkmen O, Demir S, Sensoy S, Dursun A. 2005. Effects of arbuscular mycorrhizal fungus and humic acid on the seedling development and nutrient content of pepper grown under saline soil conditions. *J. Biol. Sci.*, **5**(5): 568-574.
- Tuteja N. 2007. Mechanisms of high salinity tolerance in plants. *Methods in Enzymology*, **428**: 419-438.
- Zandavalli RB, Dillenburg LR, Paulo VD. 2004. Growth responses of *Araucaria angustifolia* (Araucariaceae) to inoculation with the mycorrhizal fungus *Glomus clarum*. *Agric. Ecosyst. Environ. Applied Soil Ecol.*, **25**: 245-255.