



## Effets de l'inoculation mycorhizienne sur le comportement agro-physiologique des écotypes du tamarinier (*Tamarindus indica* L.) au Sénégal

Bourou Sali<sup>\*1&2</sup>, Ndiaye Fatimata<sup>3</sup>, Diouf Macoumba<sup>1</sup>, Van Damme Patrick<sup>45</sup>

<sup>1</sup>Institut Sénégalais de Recherche Agricole (ISRA)-Centre d'Etude Régional pour l'Amélioration de l'Adaptation à la Sécheresse (CERAAS) BP 3320 Thiès, Sénégal ; <sup>2</sup>Institute of Agricultural Research for Development (Cameroon); <sup>3</sup>Institut Sénégalais de Recherche Agricole (ISRA) - Laboratoire National de Recherche sur les Productions Végétales (LNRPV) BP 3120 Dakar Bel Air, Sénégal ; <sup>4</sup>University of Ghent, Faculty of Bioscience engineering, Coupure Links 653 B-9000 Ghent Belgium.

\*Corresponding author: [sali.bourou@gmail.com](mailto:sali.bourou@gmail.com)

Original Submitted In 20<sup>th</sup> June 2011. Published online at [www.biosciences.elewa.org](http://www.biosciences.elewa.org) on October 28, 2011.

### RESUME

**Objectifs :** L'intérêt accordé aux plantes fruitières « sauvages » n'est plus à démontrer. En effet ces espèces contribuent à accroître les revenus des ruraux et améliorent leur alimentation. Le tamarinier (*Tamarindus indica* L.) apparaît ainsi parmi les plus importants (5<sup>ème</sup> rang en zone sahélienne d'Afrique et le 2<sup>ème</sup> après le baobab au Sénégal), est caractérisé par une croissance assez lente.

**Matériels et méthodes :** Un dispositif en bloc complet randomisé a été adopté avec trois répétitions. Le matériel végétal est constitué de 3 écotypes de tamarinier : soudanien (So), soudano-sahélien (Ss) et sahélien (Sa) tandis que le matériel fongique est constitué de deux souches mycorhiziennes (*Glomus mosseae* (Gm), *Glomus aggregatum* (Ga) et le témoin sans aucun traitement(T)). Les plants sont subis deux traitements hydriques différents : ceux en conditions d'alimentation hydrique optimale (ETM) Les résultats montrent que la croissance du tamarinier est améliorée de manière significative ( $P < 0,05$ ) en présence du champignon mycorhizien du genre *Glomus* et ainsi que sa capacité de résistance à la sécheresse.

**Conclusion et application des résultats :** Cela s'est traduit par l'accroissement des paramètres morphologiques et de l'efficacité d'utilisation de l'eau instantanée par rapport aux témoins. Toutefois, cette étude ne révèle pas une différence de réponse à l'inoculation mycorhizienne entre les différentes provenances/écotypes de tamarinier.

**Mots clés :** *Tamarindus indica* L / éco-physiologie / mycorhizes / inoculation

### Abstract

**Objectives:** The focus on "wild" fruit plants is no longer shown. Indeed, these species contribute to increasing rural incomes and improve their diet. Tamarind (*Tamarindus indica* L.) appears among the most important (rank 5th in the Sahel region of Africa and the second after the baobab tree in Senegal) is characterized by a relatively slow growth.

**Materials and Methods:** A randomized complete block method was adopted with three replicates. The plant material consists of three ecotypes of tamarind: Sudanese (So), Sudan-Sahel (SS) and Sahelian (Sa),

while the material consists of two fungal strains mycorrhizal (*Glomus mosseae* (Gm), *Glomus aggregatum* (Ga) and the control without any treatment (T)). Two different water regime treatments were applied: those with optimal water regime (ETM) and those with drought stress regime. Results show that the growth of tamarind is improved significantly ( $P < 0.05$ ) in the presence of mycorrhizal fungi of the genus *Glomus* and so its ability to withstand drought.

*Conclusion and application of the results:* This resulted in an increase in morphological parameters and the efficiency of water use instant compared to controls. However, this study does not reveal a difference in response to mycorrhizal inoculation between different sources / ecotypes of tamarind.

## INTRODUCTION

Dans le cadre d'une approche globale de la relance de la croissance économique mondiale, l'agriculture joue un rôle prépondérant. La contribution de l'agriculture se définit en plusieurs composantes dont notamment celle de l'accroissement des revenus des populations rurales en zone tropicale. Le constat révèle que dans cette partie du monde, la nécessité à la diversification agricole s'impose plus que dans d'autres zones (PAM, 2003).

En Afrique, un déséquilibre entre la production alimentaire (dont l'augmentation réalisée est de 2% par an et la croissance de population 3% par an) a été mis en évidence ces dernières années (FAO, 2008). Ceci a pour conséquence immédiate la baisse de la production agricole par habitant ce qui mène à l'installation de crises alimentaires et de la famine. Plusieurs contraintes entravent l'augmentation de la production agricole. Un des principaux facteurs limitant de la production agricole est la sécheresse. En effet, elle limite la production agricole et forestière dans les zones arides et semi-arides d'Afrique de l'Ouest (Sarr *et al.*, 2005). 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 des végétaux (Annerose, 1990).

Au Sahel (zone caractérisée par une pluviométrie déficitaire à travers l'année en moyenne 250 à 400 mm/an) les populations vivent dans des conditions de production agricole très difficiles et fournissent beaucoup d'efforts afin de tirer le maximum de profit de l'agriculture mais surtout de leurs ressources naturelles pour leur survie. Les arbres fruitiers forestiers, par exemple, aident à assurer le bien-être des populations et en particulier celles du

milieu rural. Les fruits et les feuilles issus d'espèces souvent « sauvages » (*Tamarindus indica*, *Adansonia digitata*, *Balanites aegyptiaca*) sont consommés quotidiennement par les ménages (Buchmann *et al.*, 2010 ; De Caluwé *et al.*, 2010). Dans le Sahel, l'alimentation en milieu rural est dominée par les céréales riches en amidon mais qui sont relativement pauvres en éléments minéraux et en vitamines.

Les fruits des arbres fruitiers et leurs feuilles fournissent des oligo-éléments, des vitamines et des protéines qui sont rares dans les céréales mais indispensables pour maintenir l'équilibre alimentaire (Assobadjo, 2006). *Balanites aegyptiaca*, *Parkia biglobosa*, *Tamarindus indica*, *Adansonia digitata*, *Zizyphus mauritiana*, entre autre, sont des espèces fruitières à usages multiples dans les systèmes agroforestiers des zones arides et semi-arides de l'Afrique de l'Ouest d'Afrique (Bâ *et al.*, 2000). Ils fournissent des fruits comestibles qui sont une source de revenus non négligeable pour les paysans, notamment en période de soudure (De Caluwé *et al.*, 2010).

Le tamarinier (*Tamarindus indica* L.) apparaît ainsi parmi les plus importants (au 5<sup>ème</sup> rang en zone Sahélienne d'Afrique et le 2<sup>ème</sup> après le baobab au Sénégal) (Ndiaye *et al.*, 2002) et dont plusieurs vertus lui sont reconnus (Buchmann *et al.*, 2010 ; De Caluwé *et al.*, 2010). Les fruits se présentent sous forme de gousses à pulpe acide et fibreuse très utilisés dans l'alimentation (condiment, jus), très riches en phosphore et en vitamine B1 (thiamine). Les feuilles, le bois, les racines et l'écorce du tamarinier sont utilisés comme combustibles, aliments, fourrages et médicaments (El-Siddig *et al.*, 2006). La pulpe contient de la tamarine qui est un laxatif efficace et recherché

(De Caluwé *et al.*, 2010). Il faut noter que *T. indica* est une légumineuse, à qui on ne reconnaît pas la capacité de développer une symbiose avec les rhizobiums. Il n'est donc pas fixateur d'azote atmosphérique (Bâ *et al.*, 2000). Il est par ailleurs aussi caractérisé par une croissance assez lente (Morton, 1987 ; Bâ *et al.*, 2000 ; Bowe, 2006).

A l'instar des autres ligneux fruitiers du Sahel, le tamarinier dépend des mycorhizes pour sa croissance juvénile, en particulier des souches telles que, *Gigaspora margarita*, *G. aggregatum*, *Glomus fasciculatum*, *G. mosseae*, *Acaulospora* spp, *Scutellospora* spp, et *Pisolithus tinctorius* (Bâ *et al.*, 2000 ; Bourou *et al.*, 2010). Le genre *Glomus* est le plus connu des souches mycorhiziennes dans l'association avec les espèces végétales du Sahel (Bâ *et al.*, 2000). En situation de stress hydrique, l'inoculation de ces arbres fruitiers par des champignons mycorhiziens pourrait améliorer leur tolérance au stress

hydrique. En outre l'inoculation pourra les aider ces arbres fruitiers à survivre les premiers stades de développement et d'établissement ainsi accroître leur efficacité d'utilisation d'eau et leur nutrition minérale.

L'objectif du présent travail a été donc d'étudier le comportement de quelques provenances de tamariniers (prises dans les trois zones agro-écologiques) du Sénégal en association avec deux espèces de champignon mycorhizien du genre *Glomus* (*aggregatum* et *mosseae*) en situation de stress hydrique variée. De manière spécifique il s'agira : (1) d'évaluer les effets des souches mycorhiziennes sur le comportement de croissance de quelques écotypes de tamarinier du Sénégal en condition d'alimentation hydrique variée ; et (2) de caractériser l'influence de l'inoculation mycorhizienne sur le fonctionnement écophysologique de ces écotypes de tamarinier du Sénégal.

## MATERIELS ET METHODES

**Conduite de l'essai :** L'étude a été menée dans la serre expérimentale du CERAAS (Centre d'Etude Régional pour l'Amélioration de l'Adaptation à la Sécheresse) à Thiès au Sénégal. Elle a concerné deux types de matériel, végétal et fongique. L'essai a duré 4 mois et a été conduit sur un substrat de sable stérilisé à l'autoclave à 120 °C (Bâ *et al.*, 2000), pendant 2 h sur deux jours consécutifs. Chaque pot (30 x 28 cm) a été rempli avec 10 kg de sol et arrosé jusqu'à la capacité au champ. L'inoculation a été effectuée suivant le protocole de (Bâ *et al.*, 2000), 5 jours après germination des plantules de *T. indica* à une quantité de 20 g (d'inoculum mycorhizien) par pot de culture. Les plants ont été arrosés jusqu'à la capacité au champ après chaque deux jours (48h).

**Matériel végétal :** Des graines de différents écotypes de tamariniers ont été obtenus de fruits mûrs et secs collectés sur les arbres dans trois sites choisis au hasard dans trois zones agro-écologiques du Sénégal. Les sites choisis étaient distants de 50 km au minimum or que chaque arbre choisi pour la récolte des graines devrait être distant de 100 m (au minimum) du suivant. Ces précautions ont été prises pour réduire l'effet dépressif de l'allogamie observé sur le tamarinier (Diallo *et al.*, 2008). Les caractéristiques des sites de

collecte des fruits sont résumées dans le *tableau 1* ci-dessous. Les graines ont été obtenues au laboratoire après lavage à l'eau des fruits. Elles ont ensuite été traitées à de l'acide sulfurique concentrée (95%) pendant 10 minutes dans le but de lever la dormance tégumentaire (Ndiaye *et al.*, 2002 ; Danthu *et al.*, 1996).

**Matériels fongiques :** L'inoculum contenant les espèces de champignon mycorhizien du genre *Glomus* a été obtenu auprès du Laboratoire de Biotechnologie des champignons (LBC) de l'université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal. Il s'agissait spécifiquement de deux souches : *Glomus aggregatum* et *G. mosseae*. En effet, le genre *Glomus* est considéré comme le plus abondant de tous les champignons mycorhiziens arbuscules en zone tropicale aride (Maksoud *et al.*, 1994 ; Jansa *et al.*, 2002 ; Maksoud *et al.*, 2006). Les souches mycorhiziennes ont été multipliées préalablement en utilisant le maïs variété CMS85 (*Zea mays*) comme plante hôte (Bâ *et al.*, 2000). Les études antérieures ont montrées que le tamarinier a un large spectre d'association mycorhizienne (El-Siddig *et al.*, 2006 ; Bourou *et al.*, 2010).

Tableau 1 : Sites de collecte du matériel végétal

Zones agro-écologiques	Sites de collecte	Coordonnées Géographique (GPS)	
		Longitude (Ouest)	Latitude (Nord)
Sahélienne	Niokhoul	16,33032	15,17849
	Sakal	16,13687	15,50480
	Barkedji	14,87065	15,28448
Soudano-Sahélienne	Foua	14,33122	16,72578
	Gnibi	15,65049	14,43506
	Mbassis	16,42623	14,08452
Soudanienne	Ibel	12,51609	12,37785
	Wélingara	12,45882	12,05528
	Dogoro	15,62574	13,64686

**Dispositif expérimental :** Un dispositif en bloc complet randomisé a été adopté avec trois répétitions. Le plan expérimental est résumé dans la figure 1. Le dispositif expérimental était constitué de trois facteurs étudiés :

- ❖ le matériel végétal à 3 écotypes : soudanien (So), soudano-sahélien (Ss) et sahélien (Sa) ;
- ❖ le matériel fongique : *Glomus mosseae* (Gm), *Glomus aggregatum* (Ga) et le témoin (T) (sans aucune inoculation mycorhizienne) ; et
- ❖ le régime hydrique : les plants sont repartis en deux groupes, ceux en conditions d'alimentation hydrique optimale (ETM) et les plants stressés (STR) ayant subi un stress hydrique progressif (-1,74 MPa) appliqué par une suspension d'arrosage (Dramé, 2005 ; Hamidou, 2006) pendant 13 jours.

**Paramètres observés :** Sur la bases des études antérieures deux hypothèses ont été émises : (1) la mycorhization n'améliore ni l'indice de résistance au stress hydrique ni l'efficacité d'utilisation de l'eau (EUE) chez le *T. indica* (Guissou *et al.*, 2001 ; Guissou, 2001); et (2) le *T. indica* est fortement dépendant de la mycorhization dans sa phase de croissance et améliore sa capacité d'adaptation au stress hydrique (Bâ *et al.*, 2000). Pour vérifier ces deux hypothèses, deux groupes de paramètres ont été observés ou calculés pour cette étude. Les paramètres morphologiques (taille des plants, le diamètre au collet, la biomasse aérienne et racinaire) et les paramètres éco-physiologiques (la photosynthèse nette, la conductance stomatique, l'efficacité d'utilisation de l'eau instantanée, la transpiration, la concentration du CO<sub>2</sub> interne).

Nbre Trait.	BLOC III			BLOC II			BLOC I		
	Rép_1	Rép_2	Rép_3	Rép_1	Rép_2	Rép_3	Rép_1	Rép_2	Rép_3
1	SoT/ETM	SoT/ETM	SoT/ETM	SsT/ETM	SsT/ETM	SsT/ETM	SsGa/STR	SsGa/STR	SsGa/STR
2	SaGm/ETM	SaGm/ETM	SaGm/ETM	SaT/ETM	SaT/ETM	SaT/ETM	SaGa/ETM	SaGa/ETM	SaGa/ETM
3	SsGa/ETM	SsGa/ETM	SsGa/ETM	SoGa/ETM	SoGa/ETM	SoGa/ETM	SsT/ETM	SsT/ETM	SsT/ETM
4	SoGa/ETM	SoGa/ETM	SoGa/ETM	SoGm/STR	SoGm/STR	SoGm/STR	SsGa/ETM	SsGa/ETM	SsGa/ETM
5	SoT/STR	SoT/STR	SoT/STR	SaGa/STR	SaGa/STR	SaGa/STR	SoGa/ETM	SoGa/ETM	SoGa/ETM
6	SsT/STR	SsT/STR	SsT/STR	SaGm/STR	SaGm/STR	SaGm/STR	SaGa/STR	SaGa/STR	SaGa/STR
7	SsGm/STR	SsGm/STR	SsGm/STR	SsGa/ETM	SsGa/ETM	SsGa/ETM	SsGm/ETM	SsGm/ETM	SsGm/ETM
8	SsGm/ETM	SsGm/ETM	SsGm/ETM	SoT/ETM	SoT/ETM	SoT/ETM	SoT/ETM	SoT/ETM	SoT/ETM
9	SoGm/STR	SoGm/STR	SoGm/STR	SsGm/ETM	SsGm/ETM	SsGm/ETM	SaGm/ETM	SaGm/ETM	SaGm/ETM
10	SaGa/ETM	SaGa/ETM	SaGa/ETM	SsT/STR	SsT/STR	SsT/STR	SoGm/ETM	SoGm/ETM	SoGm/ETM
11	SaGa/STR	SaGa/STR	SaGa/STR	SsGm/STR	SsGm/STR	SsGm/STR	SoGm/STR	SoGm/STR	SoGm/STR
12	SsT/ETM	SsT/ETM	SsT/ETM	SoGm/ETM	SoGm/ETM	SoGm/ETM	SaGm/STR	SaGm/STR	SaGm/STR
13	SaT/ETM	SaT/ETM	SaT/ETM	SoT/STR	SoT/STR	SoT/STR	SsGm/STR	SsGm/STR	SsGm/STR
14	SoGm/ETM	SoGm/ETM	SoGm/ETM	SsGa/STR	SsGa/STR	SsGa/STR	SoGa/STR	SoGa/STR	SoGa/STR
15	SoGa/STR	SoGa/STR	SoGa/STR	SaGm/ETM	SaGm/ETM	SaGm/ETM	SoT/STR	SoT/STR	SoT/STR
16	SaT/STR	SaT/STR	SaT/STR	SoGa/STR	SoGa/STR	SoGa/STR	SsT/STR	SsT/STR	SsT/STR
17	SaGm/STR	SaGm/STR	SaGm/STR	SaGa/ETM	SaGa/ETM	SaGa/ETM	SaT/ETM	SaT/ETM	SaT/ETM
18	SsGa/STR	SsGa/STR	SsGa/STR	SaT/STR	SaT/STR	SaT/STR	SaT/STR	SaT/STR	SaT/STR

Figure 1 : Plan du dispositif expérimental.

**Paramètres morphologiques :** La taille/hauteur et le diamètre au collet des plants ont été mesurés à un pas de temps de 14 jours excepté pour le début de l'essai (7 jours). La biomasse aérienne et racinaire ont été obtenues à la fin de l'essai, 115 Jours Après Semis (JAS).

- La taille a été mesurée dès le 5<sup>ème</sup> JAS avec une règle graduée ( $\pm 0,1$  cm).
- Le diamètre au collet quant à lui a été mesuré à l'aide d'un pied à coulisse de précision (gradué en mm) à partir du 5<sup>ème</sup> JAS.
- A la récolte de l'essai, les plants ont été dépotés et les racines extraites par lavage à l'eau. La partie aérienne a été sectionnée de la partie racinaire, puis les deux parties (aérienne et racinaire) ont été mises à l'étuve à 65°C pendant 72 h ; et ensuite procédé à leur pesée à l'aide d'une balance de précision (1/1000).

**Paramètres éco-physiologiques :** Il s'agit d'une cohorte de variables éco-physiologiques observées ou calculées qui renseigne sur l'état physiologique des plantes. Notamment la photosynthèse nette (A), la transpiration foliaire (E), le flux de CO<sub>2</sub> interne (Ci), la conductance stomatique (Gs) et l'efficacité d'utilisation de l'eau instantanée (EUEi) ont été calculés à partir de la formule de Jones (1992) cité par Roussel (2008).

**EUEi = A/E** où A représente la photosynthèse nette et E représente la transpiration foliaire.

L'analyseur de CO<sub>2</sub> « LCI » (ADC BioScientific Ltd), a été utilisé pour la mesure de ces paramètres éco-physiologiques. Il est constitué d'un système portable et intégré de mesure des échanges gazeux foliaires (CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>O) des plantes. Il opère en mode ouvert et

est alimentée en permanence par de l'air prélevé à 4 m à l'aide d'une canne et on mesure en continu les différences de concentrations en CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>O entre l'entrée et la sortie de l'enceinte de la chambre de mesure foliaire. Les teneurs en CO<sub>2</sub> et vapeurs d'eau ont été mesurées par des analyseurs infrarouges (LCA). Les températures de la feuille et de la chambre de mesure sont déterminées soit par bilan énergétique soit par thermistance. De même, un capteur d'humidité et un quantum-mètre associés à la chambre (PLC), permettent respectivement la mesure de l'humidité relative de la chambre et du rayonnement photosynthétiquement actif (PAR).

Les mesures ont été effectuées sur la troisième feuille des jeunes plants à la fréquence suivante : 5, 13, 34, 61 et 90 JAS (le dernier jour de l'application du stress hydrique) et au 97 JAS. Le stress hydrique a été évalué au niveau de la plante progressivement à l'aide de la mesure du potentiel hydrique à la chambre à pression type PMS. Le potentiel hydrique des plants stressés a été mesuré chaque 4 jour pendant la période d'application du stress hydrique (par suspension de l'arrosage).

**L'analyse statistique :** L'analyse statistique des données a été faite à partir du logiciel Statistix (8.1). Toutes les données ont été testées pour la normalité et l'homogénéité des variances à l'aide du test de Levene avant l'analyse (Roussel, 2008) de variance. La comparaison des moyennes a été faite à l'aide du test de Newman-Keul ( $p < 0,05$ ). Les coefficients de corrélation de Spierman ont été calculés entre toutes les variables.

## RESULTATS

Les résultats obtenus n'ont pas révélés de différences significatives de réponse à l'inoculation mycorhizienne entre écotypes/provenances de tamarinier. Ainsi, quelque soit la variable (physiologique ou morphologique) considérée, il n'existe aucune différence significative entre les provenances des zones sahélienne, soudano-sahélienne et soudanienne. Par ailleurs, l'on a noté des différences significatives pour les variables morphologiques (diamètre au collet et hauteur des plants) et les paramètres éco-physiologiques (photosynthèse nette, conductance stomatique et l'efficacité d'utilisation de l'eau) entre les plants inoculés et les témoins.

**Les paramètres morphologiques ;** L'évolution de la hauteur des plants a été continue au cours de l'essai

(tableau 2). Toutefois, vers la fin de l'essai on a constaté un ralentissement de la croissance en hauteur et qui favorisait l'apparition de branches latérales. Il est important de tenir compte du fait que l'expérimentation ayant été conduite en pot (dans une serre), les potentialités de croissance en hauteur des plants n'a certainement pas pu s'exprimer totalement. Cependant, on a constaté à partir du 50 JAS correspondant au 41<sup>ème</sup> jour après inoculation, une croissance significativement ( $P < 0,05$ ) plus élevée des plants inoculés à *G. aggregatum* comparait à ceux des plants inoculés à *G. mosseae* et les témoins. Cette tendance est restée maintenue jusqu'aux 92 jours après semis, date de la dernière mesure de l'essai.

**Tableau 2:** Hauteur (cm) des plants inoculés au *Glomus aggregatum*, *G. mosseae* et le témoins

Traitement	Jours après semis						
	15	22	36	50	64	78	92
Témoin	10,40 <sup>a</sup>	11,84 <sup>a</sup>	14,67 <sup>a</sup>	19,02 <sup>a</sup>	25,47 <sup>a</sup>	32,56 <sup>a</sup>	40,02 <sup>a</sup>
<i>G. mosseae</i>	10,30 <sup>a</sup>	11,82 <sup>a</sup>	14,31 <sup>a</sup>	18,52 <sup>a</sup>	26,07 <sup>a</sup>	32,79 <sup>a</sup>	41,32 <sup>a</sup>
<i>G. aggregatum</i>	10,61 <sup>a</sup>	12,26 <sup>a</sup>	15,75 <sup>a</sup>	19,99 <sup>b</sup>	27,03 <sup>b</sup>	34,56 <sup>b</sup>	42,82 <sup>b</sup>

Probabilité (P < 0,05) ;

L'évolution de le diamètre au collet est similaire à celui de la hauteur. A partir du 64 JAS (55 jours après inoculation), on observe une différence significative (P < 0,05) entre les plants inoculés (*Glomus aggregatum* et *G. mosseae*) et les témoins (tableau 3). Contrairement à la hauteur des plantes, l'effet de l'inoculation intervient un peu plus tard (14 jours). Toutefois, aucune différence n'a été observée entre les plantes inoculées à *Glomus aggregatum* et celles inoculées à *G. mosseae* pour cette variable. Les résultats des analyses statistiques effectuées ne montrent pas de

différence entre les provenances de tamarinier. On a pu observer un effet précoce (43<sup>ème</sup> JAS) de l'inoculation pour les paramètres éco-physiologiques suivis. Le déficit hydrique appliqué par suspension de l'arrosage des plants a permis d'atteindre un potentiel hydrique foliaire de -1,74 MPa (pendant 13 jours). Cet effet du déficit hydrique a été significatif sur les variables physiologiques observées (la photosynthèse nette, la conductance stomatique et l'efficacité d'utilisation de l'eau instantanée).

**Tableau 3:** Diamètre au collet (cm) des plants inoculés au *G. aggregatum*, *G. mosseae* et les témoins.

Traitement	Jour après semis						
	15	22	36	50	64	78	92
Témoin	1,11 <sup>a</sup>	1,24 <sup>a</sup>	1,60 <sup>a</sup>	2,01 <sup>a</sup>	2,39 <sup>b</sup>	3,02 <sup>b</sup>	3,55 <sup>b</sup>
<i>G. mosseae</i>	1,09 <sup>a</sup>	1,24 <sup>a</sup>	1,56 <sup>a</sup>	2,21 <sup>a</sup>	2,59 <sup>a</sup>	3,23 <sup>a</sup>	3,81 <sup>a</sup>
<i>G. aggregatum</i>	1,09 <sup>a</sup>	1,22 <sup>a</sup>	1,57 <sup>a</sup>	2,45 <sup>a</sup>	2,81 <sup>a</sup>	3,49 <sup>a</sup>	4,05 <sup>a</sup>

Probabilité (P < 0,05) ; a et b représentent les différences statistiques observées

Le facteur Pn (photosynthèse nette) a une évolution croissante jusqu'au 76 JAS, date de l'application du stress hydrique. A partir de cette date, l'on observe une baisse rapide du processus de photosynthèse. Cette chute de l'activité photosynthétique s'explique par une fermeture progressive des stomates foliaires suite à l'application du déficit hydrique. Une différence significative a été observée entre les plants inoculés au *G. aggregatum* et ceux inoculés à *G. mosseae* et les témoins (figure 2). A la réhydratation des plants, une différence significative entre des plants inoculés et des témoins ont été constatée. La réduction de la perte en eau par la fermeture des stomates associé à l'accroissement de l'alimentation hydrique et minérale fourni par l'effet de l'inoculation mycorhizienne (*G. aggregatum* et *G. mosseae*) pourrait expliquer cette différence avec les témoins.

L'évolution de la conductance stomatique (Gs) est similaire à celle de la photosynthèse nette. En effet, on observe une évolution croissante de cette variable jusqu'au 76 JAS (figure 3). L'effet du déficit hydrique s'est manifesté par une chute légère de la conductance

stomatique des plants inoculés et de manière significative (P < 0,05) chez les témoins (figure 3). A la réhydratation, les plants inoculés au *G. aggregatum* présentent une conductance stomatique plus élevée (0,43 molm<sup>-2</sup>S<sup>-1</sup>) que celle des plants inoculés à *G. mosseae* et les témoins. Le maintien ouvert des stomates malgré la contrainte hydrique prolongée impliquerait que la feuille des plants inoculés peut transpirer sans limitations majeure et que l'eau perdue est récupérée par le système racinaire.

La évolution de L'efficacité d'utilisation de l'eau instantanée (EUEi) au cours de cette expérimentation a été semblable aux autres paramètres éco-physiologiques. Cependant, on constate que l'application du stress, a induit une chute importante de cette variable (figure 4). Dès les 43 JAS, qui correspond aux 34 jours après inoculations des plants au *Glomus aggregatum* et *G. mosseae*, on note une EUEi des plants inoculés significativement (P < 0,05) supérieure à celle des témoins (figure 4). Au moment de la réhydratation, cette différence statistique reste constante. Nous déduisons de ces résultats que

le stress hydrique ait une influence sur l'EUEi ; on n'observe pas de différence entre les plants inoculés.

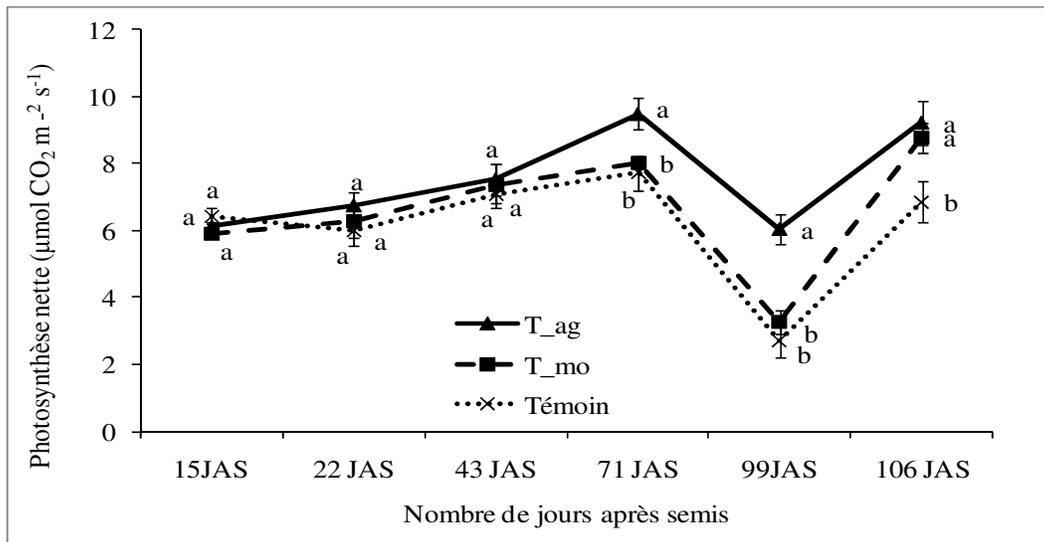


Figure 2 : Comparaison de la photosynthèse nette moyenne des plants inoculés à *G. aggregatum* (T\_ag), *G. mosseae* (T\_mo) et les plants sans traitement.

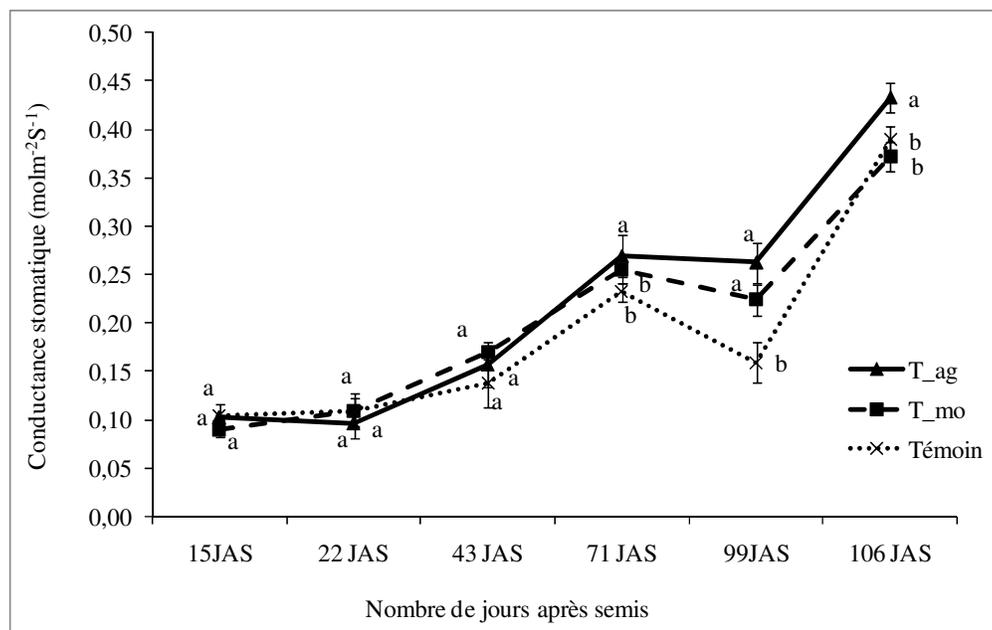
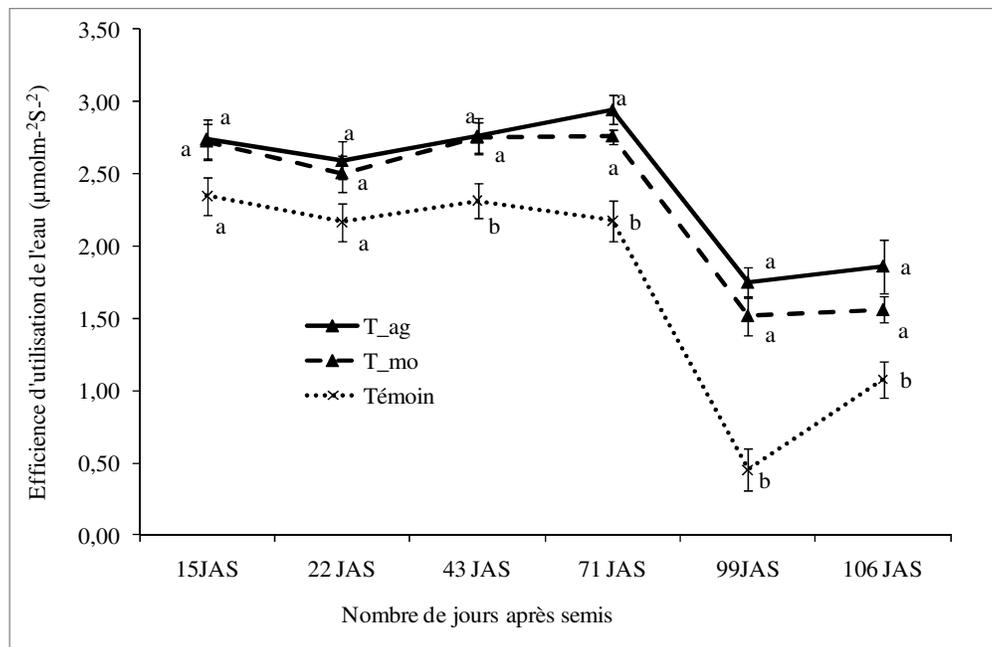


Figure 3 : Comparaison de photosynthèse nette moyenne des plants inoculés à *G. aggregatum* (T\_ag), *G. mosseae* (T\_mo) et les plants sans traitement.



**Figure 4** : Efficacité d'utilisation de l'eau instantanée moyenne des plants inoculés à *G. aggregatum* (T\_ag), *G. mosseae* (T\_mo) et les plants sans traitement.

## DISCUSSION

La présente étude montre clairement que (i) la croissance du tamarinier est améliorée par la présence du champignon mycorhizien du genre *Glomus* et (ii) la contribution de l'association des mycorhizes à la capacité de résistance à la sécheresse du tamarinier. Ces résultats sont conformes à ceux des autres études (Guissou *et al.*, 2001) dans lesquelles il a été démontré que l'inoculation mycorhizienne peut aider à améliorer la croissance et la résistance à la sécheresse (Ruiz-Lozano *et al.*, 1995 ; Guissou *et al.*, 2001).

L'efficacité d'utilisation de l'eau instantanée (EUEi) correspond au rapport de la quantité de carbone fixée dans la biomasse sur la quantité d'eau transpirée par la plante pour une période de temps donnée (Roussel, 2008). Il s'agit ainsi d'une mesure des performances des plantes en matière de la relation gain de carbone versus perte d'eau. L'EUEi des plantes inoculées, s'oppose aux résultats obtenus par Guissou *et al.* (2001), qui montrent que les effets du stress hydrique sur l'EUEi pourraient varier avec le champignon mycorhizien, la plante hôte, l'intensité et la durée d'exposition des plants au stress hydrique (Sylvia *et al.*, 1993 ; Ruiz-Lozano *et al.*, 1995). Ceci contribuerait à l'hypothèse selon laquelle le tamarinier aurait un large spectre d'association mycorhizienne (El-Siddig *et al.*, 2006 ; Bourou *et al.*, 2010). Les réactions au niveau de la conductance stomatique ont été montrées comme

un mécanisme important de la réponse à une sécheresse (Sperry, 2000 ; Rambal *et al.*, 2003 ; ). Cette conductance diminue lorsque la contrainte hydrique augmente. Sperry (2000) a montré que la conductance stomatique était souvent corrélée positivement à la conductance hydraulique. Nous pouvons donc émettre l'hypothèse selon laquelle la chute de la conductance stomatique due à la sécheresse provoque une diminution de la conductance hydraulique et de celle de la productivité éco-physiologique de la plante. Notons qu'il a été également démontré que la conductance stomatique diminue de manière linéaire avec l'abaissement du potentiel hydrique (Rambal *et al.*, 2003). Cette observation confirme les résultats obtenus sur l'efficacité de l'utilisation de l'eau des plantes inoculées et de leurs témoins (les non inoculés).

Le phénomène important de la régulation de cette réponse au stress hydrique des plantes est la fermeture des stomates des plantes. L'amplitude de cette réaction est intrinsèque à l'espèce et aux conditions environnementales. Des études passées (Vasquez *et al.*, 1990 ; Guissou *et al.*, 2001 ; Rambal *et al.*, 2003) ont montré que pour les plantes herbacées cultivées dans un volume de sol réduit, ce qui limite la réserve utile en eau et l'extension du système racinaire, ce délai n'est souvent que de

quelques jours. Vasquez *et al.* (1990) obtient une fermeture stomatique complète au bout de 6 jours de contrainte sur *Vigna* et *Phaseolus*. La vitesse de réponse des stomates au cours du temps non seulement dépend des espèces et de leur consommation en eau mais aussi de la réserve en eau utilisable du sol. L'association mycorhizienne contribue dans l'amélioration de l'alimentation hydrique et minérale des plantes hôtes. Il a été souvent observé qu'une fermeture stomatique plus lente (14 jours pour cette étude) peut traduire une certaine tolérance à la déshydratation qui peut être accompagnée d'un ajustement osmotique.

En conclusion, les résultats de la présente étude indiquent que l'inoculation avec *G. aggregatum* et *G. mosseae* stimule la croissance et la capacité de résistance au stress hydrique du tamarinier. Cela s'est traduit par l'accroissement des paramètres morphologiques et de l'efficacité d'utilisation de l'eau

instantanée par rapport aux plants sans traitement. Toutefois, cette étude ne révèle pas une différence de réponse à l'inoculation mycorhizienne entre les différentes provenances/écotypes de tamarinier.

Une étude sur la variabilité de la réponse à la tolérance au stress hydrique est à envisager avec différents souches ou espèces de champignons mycorhiziens et sur une collection plus importante de tamariniers. Ceci en utilisant d'autres critères physiologiques/biochimiques d'évaluation tels que la teneur en proline, en ABA (acide abscissique), ascorbate peroxydase (APX) et/ou le superoxyde dismutase (SOD). Cette approche pourra mieux élucider les mécanismes impliqués dans la réponse à l'inoculation mycorhizienne du tamarinier mais aussi révéler ceux qui entrent aussitôt dans la résistance de la plante au stress hydrique à l'état juvénile de la plante.

## REMERCIEMENTS

Ce présent travail a été conduit dans le cadre du projet DADOBAT, nous tenons à remercier la commission de

l'Union Européenne pour le financement et l'équipe de gestion dudit projet.

## BIBLIOGRAPHIE

- Annerose DJM, 1990. Recherches sur les mécanismes physiologiques d'adaptation à la sécheresse. Application au cas de l'arachide (*Arachis hypogaea*) cultivé au Sénégal. Thèse de doctorat, Université Paris VII, 282 p.
- Assogbadjo AE, 2006. Importance socio-économique et étude de la variabilité écologique, morphologique, génétique et biochimique du baobab (*Adansonia digitata* L.) au Bénin. Thèse de doctorat, Ghent University (Belgium), Ghent, 239 p.
- Bâ AM, Planchette C, Danthu P, Duponnois R, Guissou T, 2000. Functional compatibility of two arbuscular mycorrhizae with thirteen fruit trees in Senegal, Agroforestry System. 50 95-105.
- Bourou S, Ndiaye F., Diouf M., Van Damme P, 2010. Tamarind (*Tamarindus indica* L.) parkland mycorrhizal potential within three agro-ecological zones of Senegal. Fruits, vol. 65, 1-9.
- Bowe C, 2006. Predicting suitable areas for the production of tamarind (*Tamarindus indica* L.) an underutilized fruit tree species, Univ. Southampt., Southampt., U.K., Thesis, 218 p.
- Buchmann C., Prehler S., Hartl A., Vogl C.R, 2010. The Importance of Baobab (*Adansonia digitata* L.) in Rural West African Subsistence— Suggestion of a Cautionary Approach to International Market Export of Baobab Fruits. *Ecology of Food and Nutrition*, 49 145-172.
- Danthu P., Gaye A., Roussel L.J., Sarr A, 1996. Long term conservation of seed pretreated by sulfuric acid. In Innovations in tropical tree seed technology, Danida Forest Seed Centre, Humlebaek, 37-44
- De Caluwé E., Halamova K., Van Damme P, 2010. *Tamarindus indica* L. A Review of Traditional Uses, Phytochemistry and Pharmacology, 38 p.
- Diallo B.O., Mckey D., Chevallier M-H., Joly H.I., Hossaert-Mckey M, 2008. Breeding system and pollination biology of the semi-domesticated fruit tree, *Tamarindus indica* L. (Leguminosae: Caesalpinioideae): Implications for fruit production, selective breeding, and conservation of genetic resources, Afr. J. Biotechnol. 7, 4068-4075.
- Dramé K. N, 2005. Réponses adaptatives de l'arachide aux contraintes environnementales :

- Caractérisation d'un nouvel inhibiteur de sérine protéinase. Thèse de doctorat, Université Paris XII-Val De Marne-France, 144 p.
- El-Siddig K., Gunasena H.P.M., Prasad B.A., Pushpakumara D.K.N.G., Ramana K.V.R., Vijayand P., Williams J.T, 2006. Tamarind (*Tamarindus indica* L.), Br. Libr., Southampt., U.K.126 p.
- FAO, 1963. Perspectives agricoles de l'OCDE et de la FAO 2008-2017, OCDE/FAO, (2008) 83 p.
- Gerdemann J.W., Nicholson T.H, 1963. Spores for mycorrhizal endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting, Trans. Br. Mycol. Soc. 46, 235–244.
- Guissou T., Bâ A. M., Plenchette C., Guinko S., Duponnois R, 2001. Effets des mycorhizes à arbuscules sur la tolérance à un stress hydrique chez quatre arbres fruitiers *Balanites aegyptiaca* (L.) Del., *Parkia biglobosa* (Jacq.) Benth., *Tamarindus indica* L. et *Ziziphus mauritiana* Lam. Sécheresse 12 (2), 121-127.
- Guissou T, 2001. Contribution of arbuscular mycorrhizal fungi to growth and nutrient uptake by jujube and tamarind seedlings in a phosphate (P)-deficient soil, African Journal of Microbiology Research 3 (5), 297-304.
- Hamidou F, 2006. Paramètres physiologiques, biochimiques et agronomiques pertinents pour les programmes d'amélioration de l'adaptation du niébé (*Vigna unguiculata* L. WALP.) au déficit hydrique. Thèse de doctorat, Université de Ouagadougou-Burkina Faso, 172 p.
- Jansa J., Mozafar A., Anken T., Ruh R., Sanders I. R., Frossard E, 2002. Diversity and structure of AMF communities as affected by tillage in a temperate soil, Mycorrhiza 12 225–234.
- Maksoud M.A., Haggag L.F., Azzay M.A., Saad R.N, 1994. Effect of VAM inoculation and phosphorous application on growth and nutrient content (P and K) of *Tamarindus indica* L. (Tamarind) seedlings, Ann. Agric. Sci. 30, 355–363.
- Morton J, 1987. Tamarind (*Tamarindus indica*), in: Fruits of warm climates, Julia F. Morton, Miami, FL, U.S.A., 115–121.
- Ndiaye S. A., Wade, M. Coulibaly H, 2002. Contribution à la caractérisation des peuplements de cinq fruitiers sahéliens prioritaires: *Adansonia digitata*, *Parkia biglobosa*, *Tamarindus indica*, *Vitellaria paradoxa* et *Ziziphus mauritiana*. CNRF:RESEAU CORAF FORET / AGROFORESTERIE, Dakar –Sénégal, 28 p.
- PAM, 2003. Insécurité et dangers alimentaires. Rapport d'activités, Programme Alimentaire Mondiale Rome-Italie, 259 p.
- Rambal S., Ourcival J.M., Joffre R., Mouillot F., Nouvelon Y., Reichstein M., Rocheteau A, 2003. Drought controls over conductance and assimilation of a Mediterranean evergreen ecosystem: scaling from leaf to canopy Global Change Biology 9 (2003) 1-12.
- Roussel M, 2008. Variabilité intraspécifique de l'efficience d'utilisation de l'eau dans une famille de chêne pédonculé (*Quercus robur* L.): causes physiologiques et/ou anatomiques, thèse de doctorat, Université Henri Poincaré, Nancy-I-France, 215 p.
- Ruiz-Lozano JM, Azcon R, Gomez M, 1995. Effects of arbuscular-mycorrhizal *Glomus* species on drought tolerance: physiological and nutritional plant responses. Appl Environ Microbiol; 61, 456-60.
- Sarr, B., Diagne M., Dancette, C, 2005. Le climat, in ISRA-ITA-CIRAD. (ed.). *Bilan de la recherche agricole et agroalimentaire au Sénégal*, Dakar, Sénégal, 33-50
- Sperry J.S, 2000. Hydraulic constraints on plant gas exchange. *Agricultural and Forest Meteorology*, 104 (1), 13-23.
- Sylvia D.M., Hammond L.C., Bennett J.M., Haas J.H., Linda S.B, 1993. Field response of maize to a VAM fungus and water management. *Agronomy Journal* 85, 193-8.
- Uhlmann E., Görke C., Petersen A., Oberwinkler F, 2006. Arbuscular mycorrhizae from arid parts of Namibia, J. Arid Environ. 64, 221–237.
- Vasquez T. A., Zuily-Fodil Y., Pham Thi A. T., Da Silva V. J. B, 1990. Electrolyte and Pi leakages and soluble sugars content as physiological tests for screening resistance to water stress in *Phaseolus* and *Vigna* species. *Journal of Experimental Botany*, 228, 507-569.