

Synergie des champignons mycorhiziens arbusculaires et le type de substrat utilisé pour la régénération de trois essences forestières menacées dans la région du Centre Cameroun

Véronique NGONO AMBASSA* et Elvire Hortense BIYE

Université de Yaoundé I, Faculté des Sciences, Laboratoire de Gestion Environnementale et Régénération Végétale, BP 812 Yaoundé, Cameroun

(Reçu le 09 Septembre 2023 ; Accepté le 18 Décembre 2023)

* Correspondance, courriel : veronica2008_2009@yahoo.fr

Résumé

La présente étude réalisée à Leboudi 2, dans la Région du Centre au Cameroun a pour objectif d'évaluer l'effet des champignons mycorhiziens arbusculaires (CMA), selon les types de sol, sur la régénération de trois essences forestières menacées. Pour ce travail, deux types de substrats, stérilisé (S) et non stérilisé (NS) ont été utilisés pour l'inoculation des différents CMA, *Acaulospora tuberculata*, *Entrophospora colombiana*, *Gigaspora margarita* et *Scutellospora gregaria*, seuls ou combinés, à des graines prégermées de *Millettia laurentii* (Wengué W), *Diospyros crassiflora* (Ébène E) et *Mansonia altissima* (Bété B) en huit traitements (T). Les résultats montrent que, pour chaque essence traitée, les substrats NS donnent les meilleures performances par rapport aux substrats S. Par ailleurs, les champignons agissent mieux en association [BT7NS et WT7NS, (62.5 %) ; ET6NS (87 %) pour les paramètres considérés]. De plus, parmi les traitements ayant reçu un seul champignon, seuls BT2NS, ET4S, WT3NS présentent les meilleures moyennes de croissance en taille et en diamètre. Par conséquent, la stérilisation du substrat ralentit la croissance des plantes et les CMA combinés, produisent les meilleurs effets. Cependant, un effet de préférence de l'hôte est constaté en mono-inoculation. Ces résultats pourraient donc être une alternative pour améliorer la régénération des espèces forestières.

Mots-clés : Bété, croissance, Ébène, inoculation, sols, symbiose, Wengué.

Abstract

Synergy of arbuscular mycorrhizal fungi and substrate type used for the regeneration of three threatened forest species in the Central Cameroon region

The aim of the present study carried out at Leboudi 2, in the Central Region of Cameroon, was to evaluate the effect of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) on various soil types for three threatened forest species under regeneration. Two types of substrates, sterilized (S) and non-sterilized (NS), were used to inoculate various AMF, *Acaulospora tuberculata*, *Entrophospora colombiana*, *Gigaspora margarita* and *Scutellospora gregaria*, either lonely or in combination, to pre-germinated seeds of *Millettia laurentii* (Wengue W), *Diospyros crassiflora* (Ebony E) and *Mansonia altissima* (Bete B) in eight treatments (T). The results show that, for each species treated, NS substrates give the best performance compared to S substrates. Moreover, fungi act better

in association [BT7NS and WT7NS, (62.5 %); ET6NS (87 %)]. Elsewhere, of the various treatments that received a single fungus, only BT2NS, ET4S and WT3NS showed the best average growth in height and diameter. Consequently, substrate sterilization slows plant growth, and CMAs mixed produce the best effects. However, when inoculated individually, a host preference effect was observed. These results could therefore be used as an alternative to improve the regeneration of most forest species.

Keywords : *Bete, growth, Ebony, inoculation, soils, symbiosis, Wengue.*

1. Introduction

Les forêts camerounaises couvrent 21,2 millions d'ha, soit 45 % du territoire national. Les forêts sempervirentes comptent pour près de 54 % [1]. La demande des produits et services de ces forêts suit le rythme de croissance démographique du pays et influence de manière directe la dynamique du secteur forestier. À cause de cette demande constamment croissante, les populations par leurs activités détruisent continuellement leur environnement. L'exploitation du bois et les défrichements à des fins agricoles contribuent à l'appauvrissement de la diversité des ressources génétiques forestières [2, 3]. De ce fait, en 2010, la flore du Cameroun qui était estimée à environ 8 260 espèces [4] a été revue à la baisse, soit 7 850 espèces recensées, parmi celles-ci, 815 espèces menacées sont à conserver selon les critères de Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN) [5] parmi les quelles *Millettia laurentii* (Wengué), *Diospyros crassiflora* (Ébène) et *Mansonia altissima* (Bété) classés comme espèces menacées selon la liste rouge de l'UICN en 2000. Leur diminution, voire leur disparition est conséquente d'une exagération de l'exploitation de ces essences forestières. On assiste donc à une réduction critique du nombre d'individus au sein de leurs populations [6 - 8]. Pour éviter cette perte de biodiversité, des programmes de restauration des écosystèmes forestiers dégradés, intégrant au préalable la régénération des essences forestières menacées, peuvent être mis en place [9]. Ceci devrait prendre en compte les interactions existantes entre la plante, les microorganismes fongiques bénéfiques du sol et la nature du substrat. En effet, certaines plantes ne peuvent croître normalement que lorsqu'elles sont associées à leur symbiote fongique dont elles sont fortement dépendantes pour une co-évolution [10]. L'utilisation des champignons mycorhiziens arbusculaires (CMA) 'in situ' aux milieux est nécessaire, car ils ont un meilleur potentiel à stimuler la croissance des plantes locales que les CMA issus d'ailleurs. Il est donc nécessaire de pouvoir sélectionner des isolats pour leurs services écosystémiques selon le type du sol [10 - 12]. Une bonne compréhension du rôle des CMA dans la croissance des plantes est donc importante. L'objectif général est d'évaluer l'effet des CMA, selon les types de sol, sur la régénération de trois essences forestières menacées. Il s'agit d'inoculer les plantes sélectionnées aux souches de CMA préalablement identifiées, en vue de déterminer les meilleures réponses.

2. Matériel et méthodes

2-1. Présentation du site d'étude

L'étude a été réalisée à Leboudi 2 au Cameroun situé à 3°54'55"N/11°26'33"E ; dans l'Arrondissement d'Okala, Département de la Lékié, Région du Centre. Le site se trouve dans la zone forestière à régime climatique bimodal avec quatre saisons, constituées de deux saisons de pluies et deux saisons sèches ; les sols sont acides et argileux avec une faible capacité d'échange cationique [13].

2-2. Mise en évidence des constituants microbiologiques du sol et production des inocula

Les spores des CMA présentes dans les sols ont été extraites par tamisage humide [14] et regroupés par morphotype. Une culture monospécifique de chaque morphotype a été faite et l'identification morphologique des spores, basée sur la taille, la couleur, l'ornementation des hyphes et la bouche de germination a été réalisée [15], suivie d'une rupture des parois pour la mise en évidence de leurs structures [16]. Par ailleurs, quatre souches de CMA acquises à l'Institut de Recherche Agronomique pour le Développement (IRAD), ont aussi été multipliées par culture monospécifique pour servir d'inocula.

2-3. Préparation du substrat

2/3 de la terre de Leboudi 2, préalablement analysée, ont été mélangée à 1/3 du sable gros grains et divisée en deux lots (stérilisé à 120° et non stérilisé) de substrats, puis introduits dans des sachets noirs.

2-4. Inoculation des souches endomycorhiziennes

Les graines des trois espèces, *Millettia laurentii*, *Diospyros crassiflora* et *Mansonia altissima*, ont été collectées respectivement des semenciers en forêts à Nkolbisson, Mfou et Sa'a, puis mises en germination. L'inoculation des CMA, seuls et en association aux graines pré-germées a été faite [17].

2-5. Dispositif expérimental

Les trois plantes choisies ont été disposées en blocs complètement randomisés, selon la nature du substrat et le traitement mycorhizien apporté **Tableau 1**.

Tableau 1 : Caractéristiques du dispositif expérimental utilisé

Composantes de l'expérimentation				Traitements
Plantes	Nature substrat	Inoculation	Espèces de CMA exogènes (IRAD)	
* Bété (B) * Ébène (E) * Wengué (W)	Stérilisé (S)	Non Inoculé	T0 = témoin négatif	BT0 ; ET0 ; WT0
		Inoculé avec	T1 = <i>Acaulospora tuberculata</i> ; T2 = <i>Gigaspora margarita</i> ; T3 = <i>Scutellospora gregaria</i> ; T4 = <i>Entrophospora colombiana</i> ; T5 = <i>Gigaspora margarita</i> + <i>Scutellospora gregaria</i> ; T6 = <i>Acaulospora tuberculata</i> + <i>Entrophospora colombiana</i> ; T7 = <i>Acaulospora tuberculata</i> + <i>Entrophospora colombiana</i> + <i>Gigaspora margarita</i> + <i>Scutellospora gregaria</i>	* BT1S; BT1NS; BT2S; BT2NS; BT3S; BT3NS; BT4S; BT4NS; BT5S; BT5NS; BT6S; BT6NS; BT7S; BT7NS. * ET1S ; ET1NS ; ET2S ; ET2NS ; ET3S ; ET3NS ; ET4S ; ET4NS ; ET5S ; ET5NS ; ET6S ; ET6NS ; ET7S ; ET7NS. * WT1S; WT1NS; WT2S; WT2NS; WT3S; WT3NS; WT4S; WT4NS; WT5S; WT5NS; WT6S; WT6NS; WT7S; WT7NS.
	Non stérilisé (NS)	Inoculé avec	T1 = <i>Acaulospora tuberculata</i> ; T2 = <i>Gigaspora margarita</i> ; T3 = <i>Scutellospora gregaria</i> ; T4 = <i>Entrophospora colombiana</i> ; T5 = <i>Gigaspora margarita</i> + <i>Scutellospora gregaria</i> ; T6 = <i>Acaulospora tuberculata</i> + <i>Entrophospora colombiana</i> ; T7 = <i>Acaulospora tuberculata</i> + <i>Entrophospora colombiana</i> + <i>Gigaspora margarita</i> + <i>Scutellospora gregaria</i>	* BT1S; BT1NS; BT2S; BT2NS; BT3S; BT3NS; BT4S; BT4NS; BT5S; BT5NS; BT6S; BT6NS; BT7S; BT7NS. * ET1S ; ET1NS ; ET2S ; ET2NS ; ET3S ; ET3NS ; ET4S ; ET4NS ; ET5S ; ET5NS ; ET6S ; ET6NS ; ET7S ; ET7NS. * WT1S; WT1NS; WT2S; WT2NS; WT3S; WT3NS; WT4S; WT4NS; WT5S; WT5NS; WT6S; WT6NS; WT7S; WT7NS.
		Non inoculé	T0 = témoin positif	BT0 ; ET0 ; WT0

2-6. Collecte et analyse des données

La terre de Leboudi 2 a subi une analyse au laboratoire de microbiologie du sol de l'Institut de Recherche Agronomique pour le Développement (IRAD) ; aussi, huit paramètres de croissance de chaque essence ont été mesurés. Il s'agit de la taille de la plante (TP) [18] ; le diamètre au collet (DC) [19] ; la biomasse fraîche (PMFP) et sèche (PMSP) [20] et le contenu en eau (CE) [21] ; la teneur en chlorophylle totale (Chltotale) [22], la colonisation racinaire (CR) puis la dépendance mycorhizienne (DM) [20, 23]. Les résultats relatifs à ces paramètres ont été soumis à une analyse de variance (ANOVA). Les tests de comparaison des moyennes ont été effectués selon la méthode de Fisher au seuil de 5 % et l'analyse des données sur SPSS 18.0.

3. Résultats

3-1. Champignons mycorhiziens arbusculaires identifiés dans les sols

Le sol de Leboudi 2 contient des spores appartenant à deux familles, Acaulosporaceae avec le genre *Acaulospora* et l'espèce *A. tuberculata*, et Gigasporaceae avec deux genres *Gigaspora*, espèce *G. margarita* et *Scutellospora* avec pour espèce *S. gregaria* (**Figure 1**).

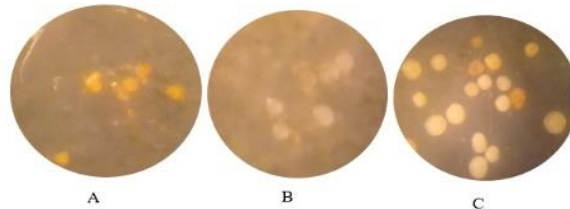


Figure 1 : Morphologie des spores. A : *Acaulospora tuberculata*, B : *Scutellospora gregaria*, C : *Gigaspora margarita*

3-2. Différents traitements et croissance des essences

Les effets des souches de CMA sur la taille (**Figures 2**) et le diamètre au collet (**Figures 3**) des trois essences forestières sur substrats stérilisé (S) et non stérilisé (NS), montrent que la croissance observée pour ces trois essences, était significative selon les traitements, le type de substrat et les CMA utilisés. Il est à souligner que les témoins des substrats stérilisés (S) présentent les valeurs (de taille et diamètre au collet) les plus faibles par rapport aux témoins des substrats non stérilisés (NS), $BTOS < BTNS$; $ETOS < ETNS$; $WTOS < WTNS$. En effet, la destruction de CMA par la chaleur dans les traitements S expliquerait ces faibles valeurs observées. Cependant, l'écart considérable établi entre les valeurs observées chez les substrats NS et celles des substrats S montre que les CMA natifs du sol seraient à l'origine de l'amplification de la croissance chez les substrats NS. De plus, la stérilisation semblerait avoir un effet ralentisseur sur la croissance des plantes étudiées, car tous les traitements à substrat S ont des valeurs inférieures à celles des traitements NS à l'exception de ET4S avec une valeur sensiblement égale à ET4NS. Le fait que ET4S et ET4NS aient sensiblement la même valeur figurant parmi les meilleures performances révélerait l'indifférence de l'Ébène vis-à-vis de la nature du substrat, mais sa préférence notée envers *Entrophospora colombiana*. Par ailleurs, les traitements BT7S, WT7S et leurs homologues BT7NS et WT7NS enregistrent les meilleures performances pour chaque espèce considérée. Ceci signifierait que les CMA de genres différents et associés dans ces traitements produiraient les meilleurs résultats pour la taille et le diamètre au collet.

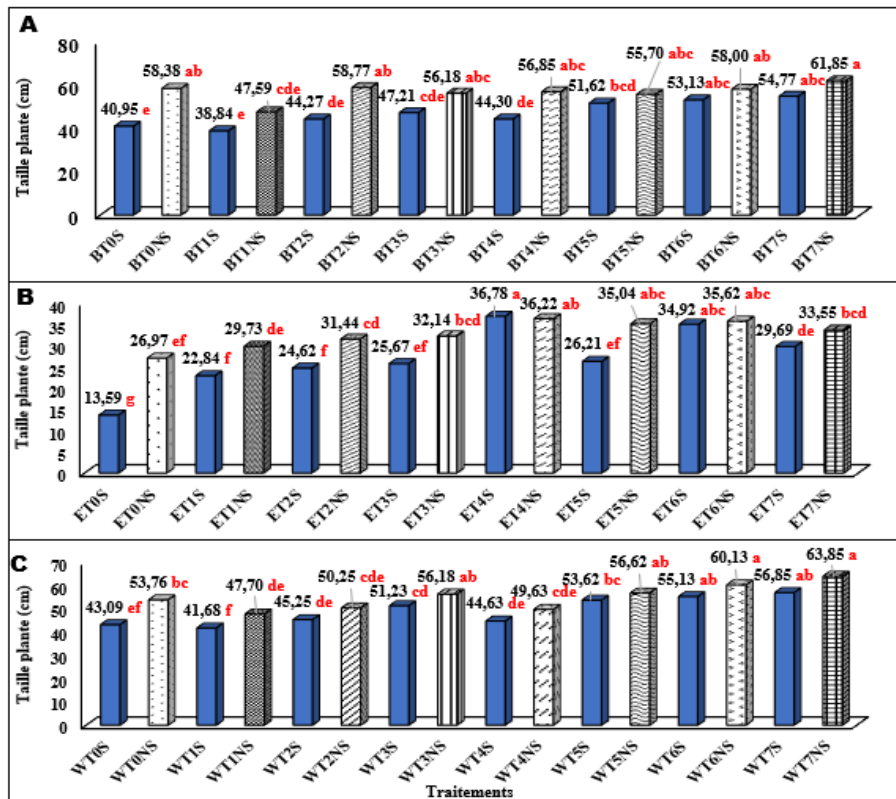


Figure 2 : Effets des souches de CMA sur la taille de trois essences forestières sur substrats stérilisé (S) et non stérilisé (NS). A : Bété (*Mansonia altissima*) ; B : (*Diospyros crassifolia*) ; C : Wengué (*Millettia laurentii*)

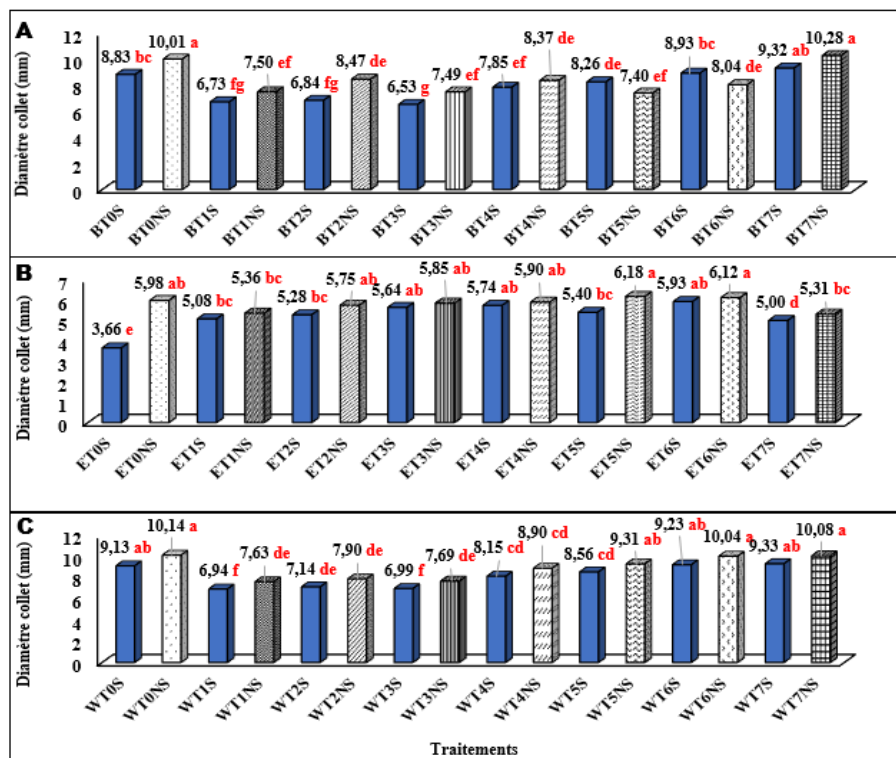


Figure 3 : Effets des souches de CMA sur le diamètre au collet de trois essences forestières sur substrats stérilisé (S) et non stérilisé (NS). A : Bété (*Mansonia altissima*) ; B : (*Diospyros crassifolia*) ; C : Wengué (*Millettia laurentii*)

3-3. Spécificité des paramètres physiologiques et mycorhiziens

En se basant sur les **Tableaux 2, 3, 4** respectivement pour le Bété, l'Ebène et le Wengué, relatifs aux quatre paramètres physiologiques : le poids de matière fraîche de la plante (PMFP), le poids de matière sèche de la plante (PMSP), la teneur en chlorophylle totale (ChlTotale), il est évident que tous les témoins S présentent des valeurs plus faibles que les témoins NS, à l'exception du paramètre sur le contenu en eau de la plante (CEP). Par ailleurs, les traitements BT7S, WT7S, BT7NS et WT7NS et ET4S enregistrent les meilleures valeurs pour les trois essences. Cet effet serait attribué à la synergie de genre des CMA pour le Bété et le Wengué, et à la préférence d'un champignon pour l'Ebène. Concernant les paramètres de la mycorhization : la dépendance mycorhizienne (DM) et la colonisation racinaire (CR), la DM est significativement élevée sur substrat S que sur substrats NS. Les valeurs élevées de la colonisation racinaire (CR) couplées à de faibles dépendances mycorhiziennes (DM) ont été observées dans BT7NS, ET4S et WT7NS. Les valeurs nulles sont notées pour les témoins S contrairement aux témoins NS qui présentent des résultats significatifs pour les deux paramètres (CR et DM). Ces résultats indiquent que la population de CMA indigènes est responsable de l'amélioration de la biomasse.

Tableau 2 : Valeurs des paramètres de croissance du Bété sur substrat S et NS, 36 semaines après semis PMSFP, PMSP, CEP, ChlTotale, CR, DM

T	PMFP	PMSP	CEP	ChlTotale	CR	DM
BT0S	49,78 ± 5,81 f	22,17 ± 4,05f	55,68 ± 2,85 a	39,78 ± 5,81f	0,00 ± 0,00 g	0,00 ± 0,00 c
BT1S	45,57 ± 4,75 f	23,00 ± 1,96ef	49,47 ± 1,04bc	35,57 ± 4,75f	56,67 ± 5,77 a	4,06 ± 9,85 c
BT2S	51,11 ± 5,51 ef	27,21 ± 3,12de	46,78 ± 1,44de	41,11 ± 5,51ef	13,33 ± 5,77 f	18,89 ± 5,81 b
BT3S	53,74 ± 4,65def	29,93 ± 3,66cd	44,36 ± 3,45e	43,74 ± 4,65ef	20,00 ± 10,00ef	24,91 ± 10,15 ab
BT4S	52,15 ± 5,27 ef	26,02 ± 2,06de	50,02 ± 1,55 b	42,15 ± 5,27ef	23,33 ± 5,77def	13,56 ± 6,50 b
BT5S	59,87 ± 3,14 bc	31,39 ± 3,45abc	47,69 ± 3,13de	49,87 ± 3,14de	20,00 ± 10,00ef	29,12 ± 11,94 ab
BT6S	62,06 ± 2,50 bc	31,79 ± 2,09abc	48,80 ± 1,31cd	52,06 ± 2,50bc	26,67 ± 5,70cde	29,55 ± 14,00 ab
BT7S	64,09 ± 6,51 ab	32,63 ± 5,40abc	49,30 ± 3,23bc	54,09 ± 6,51bc	36,67 ± 5,72 bc	29,77 ± 14,00 ab
BT0NS	68,40 ± 5,29 ab	34,69 ± 4,46ab	49,41 ± 2,68bc	58,40 ± 5,29 b	36,77 ± 5,75 bc	36,23 ± 5,84 a
BT1NS	55,09 ± 4,28 cd	29,07 ± 1,15cd	47,12 ± 2,05de	45,09 ± 4,28ef	56,67 ± 5,70 a	-19,12 ± 7,12 c
BT2NS	67,24 ± 4,58 ab	36,85 ± 2,88a	45,22 ± 0,57de	57,24 ± 9,58 b	46,67 ± 5,79 ab	6,09 ± 2,23 c
BT3NS	63,67 ± 7,77 ab	35,96 ± 5,95 ab	43,67 ± 3,37e	53,67 ± 7,77bc	33,33 ± 5,56 cd	1,09 ± 0,50 c
BT4NS	65,22 ± 4,41 ab	35,43 ± 3,68 ab	45,76 ± 2,17de	55,22 ± 4,41 b	56,67 ± 5,74 a	1,15 ± 0,5 c
BT5NS	63,10 ± 1,79 ab	35,68 ± 1,37 ab	43,45 ± 2,14e	53,10 ± 1,79bc	23,33 ± 5,60def	2,65 ± 13,46 c
BT6NS	66,04 ± 6,22 ab	36,76 ± 4,74 a	44,47 ± 2,07e	56,04 ± 6,22b	33,33 ± 5,70 cd	3,57 ± 1,54 c
BT7NS	72,13 ± 6,39 a	37,14 ± 4,41 a	48,59 ± 1,53cd	62,13 ± 6,39 a	53,33 ± 5,69 a	5,32 ± 2,20 c

Tableau 3 : Valeurs des paramètres de croissance de l'Ebène sur substrat S et NS, 36 semaines après semis : PMSFP, PMSP, CEP, ChlTotale, CR, DM

T	PMFP	PMSP	CEP	ChlTotale	CR	DM
ET0S	17,26 ± 0,92 h	6,48 ± 0,53 g	62,48 ± 1,78 a	7,26 ± 0,92 h	0,00 ± 0,00 e	0,00 ± 0,00 g
ET1S	27,93 ± 1,91 g	12,17 ± 1,65 f	56,54 ± 3,11 ab	17,93 ± 1,91 g	10,00 ± 0,00 de	45,94 ± 10,06 de
ET2S	29,90 ± 1,36 fg	13,36 ± 1,57 ef	55,42 ± 3,31 bc	19,90 ± 1,36 fg	50,00 ± 10,00 a	50,99 ± 7,59 cd
ET3S	31,31 ± 2,18 fg	13,76 ± 1,51 ef	56,13 ± 1,87 ab	21,31 ± 2,18 ef	30,00 ± 10,00 bc	52,48 ± 7,24 cd
ET4S	42,52 ± 3,65 a	22,53 ± 2,32 a	47,06 ± 1,42f	32,52 ± 3,65 a	50,00 ± 10,00 a	71,06 ± 3,58 a
ET5S	31,61 ± 2,03 fg	14,48 ± 1,73 de	54,29 ± 2,80 bc	21,61 ± 2,03 ef	30,00 ± 10,00 bc	54,74 ± 7,44 bc
ET6S	40,85 ± 4,46 ab	20,81 ± 3,73 bc	49,33 ± 3,84ef	30,85 ± 4,46 bc	50,00 ± 10,00 a	68,07 ± 7,21 a
ET7S	34,69 ± 2,53 de	17,75 ± 1,04 cd	48,78 ± 0,91ef	24,69 ± 2,53 de	40,00 ± 10,00 ab	63,42 ± 3,69 ab
ET0NS	32,95 ± 1,97ef	14,39 ± 4,30 de	56,74 ± 10,84ab	22,95 ± 1,97ef	20,00 ± 10,00 cd	51,38 ± 18,58 cd
ET1NS	35,09 ± 0,88 de	17,35 ± 0,54 cd	50,56 ± 0,36 cd	25,09 ± 0,88 de	10,00 ± 0,00 de	16,48 ± 7,10 f
ET2NS	37,19 ± 1,31 bc	18,25 ± 0,45 c	50,90 ± 1,24 cd	27,19 ± 1,31 cd	33,33 ± 5,77 b	21,47 ± 9,40 ef
ET3NS	37,98 ± 0,59 bc	18,69 ± 0,39 c	50,79 ± 0,44 cd	27,98 ± 0,59 cd	10,00 ± 0,00 de	22,69 ± 8,59 ef
ET4NS	42,12 ± 1,91 a	21,89 ± 0,93 ab	48,01 ± 0,83ef	32,12 ± 1,91 a	10,00 ± 0,00 de	34,26 ± 10,7 e
ET5NS	41,22 ± 1,64 ab	20,62 ± 1,44 bc	50,01 ± 1,55 cd	31,22 ± 1,64 ab	10,00 ± 0,00 de	30,34 ± 9,77 e
ET6NS	41,74 ± 1,69 ab	21,15 ± 1,32 ab	49,35 ± 1,17ef	31,74 ± 1,69 ab	10,00 ± 0,00 de	32,26 ± 11,60 e
ET7NS	38,87 ± 3,44 bc	20,47 ± 3,00 bc	47,51 ± 3,75f	28,87 ± 3,44 cd	10,00 ± 0,00 de	27,99 ± 26,17 ef

Tableau 4 : Valeurs des paramètres de croissance du Wengué sur substrat S et NS, 36 semaines après semis : PMSFP, PMSP, CEP, ChlTotale, CR, DM

T	PMFP	PMSP	CEP	ChlTotale	CR	DM
WT0S	52,22 ± 5,85 ef	23,52 ± 4,09 f	55,15 ± 2,72 a	42,22 ± 5,85 ef	0,00 ± 0,00 f	0,00 ± 0,00 c
WT1S	48,62 ± 5,44 f	25,02 ± 2,28 ef	48,46 ± 1,10 bc	38,62 ± 5,44 f	26,67 ± 5,77 cd	6,32 ± 3,36 bc
WT2S	52,39 ± 5,56 ef	27,63 ± 3,03 ef	47,27 ± 1,56 bc	42,39 ± 5,56 ef	23,33 ± 5,77 d	15,20 ± 7,01 bc
WT3S	58,22 ± 7,82 ef	32,60 ± 5,85 cd	44,17 ± 3,82 c	48,22 ± 7,82 ef	13,33 ± 5,77 de	26,22 ± 10,82 ab
WT4S	52,78 ± 3,74 ef	25,93 ± 2,22 ef	50,84 ± 3,29 ab	42,78 ± 3,74 ef	25,00 ± 18,03 d	8,52 ± 4,20 bc
WT5S	62,17 ± 3,14 de	32,63 ± 3,45 cd	47,62 ± 3,01 bc	52,17 ± 3,14 de	13,33 ± 5,77 de	27,68 ± 11,54 ab
WT6S	64,36 ± 2,52 cd	33,03 ± 2,06 cd	48,70 ± 1,21 bc	54,36 ± 2,52 cd	50,00 ± 10,00 a	28,12 ± 17,12 ab
WT7S	66,18 ± 5,92 bc	34,28 ± 5,00 bc	48,37 ± 2,92 bc	56,18 ± 5,92 bc	33,33 ± 5,77 bc	29,54 ± 5,34 a
WT0NS	63,90 ± 5,68 cd	30,84 ± 4,08 de	51,86 ± 2,03 ab	53,90 ± 5,68 cd	20,00 ± 9,00 d	23,99 ± 2,99 ab
WT1NS	55,33 ± 5,45 ef	29,00 ± 2,28 ef	47,52 ± 1,18 bc	45,33 ± 5,45 ef	30,00 ± 0,50 bc	-6,17 ± 2,10 c
WT2NS	58,15 ± 5,57 ef	30,72 ± 3,01 de	47,17 ± 1,39 bc	48,15 ± 5,57 ef	20,00 ± 0,50 d	-0,21 ± 4,56 c
WT3NS	63,88 ± 7,81 cd	35,71 ± 5,97 ab	44,23 ± 3,69 c	53,88 ± 7,81 cd	23,33 ± 5,77 d	11,95 ± 5,37 bc
WT4NS	58,53 ± 3,74 ef	29,03 ± 2,22 ef	50,37 ± 2,97 ab	48,53 ± 3,74 ef	13,33 ± 5,77 de	-6,90 ± 2,55 c
WT5NS	65,92 ± 3,14 bc	34,13 ± 3,45 bc	48,32 ± 2,87 bc	55,92 ± 3,14 bc	10,00 ± 0,00 e	9,30 ± 11,55 bc
WT6NS	70,17 ± 2,42 ab	36,06 ± 2,18 ab	48,64 ± 1,36 bc	60,17 ± 2,42 ab	43,33 ± 5,77 ab	13,84 ± 16,72 bc
WT7NS	73,93 ± 6,67 a	38,98 ± 5,24 a	47,42 ± 2,54 bc	63,93 ± 6,67 a	33,33 ± 5,77 bc	18,84 ± 22,99 bc

* PMFP (g) = poids de matière fraîche de la plante ; PMSP (g) = poids de matière sèche de la plante ; CEP (%) = contenu en eau de la plante ; ChlTotale (mg/g de MF) = teneur en chlorophylle totale ; CR (%) = colonisation racinaire ; DM = dépendance mycorhizienne ; T = Traitement ; MF = Matière Fraîche.

4. Discussion

4-1. Statut mycorhizien des sols de culture des essences

Les spores de CMA présentes dans les différents sols de culture associés aux essences correspondent à celles de *G. margarita*, *A. tuberculata*, et *S. gregaria*. Ces CMA avaient déjà été observés parmi d'autres dans les sols du Cameroun [24, 25]. Par ailleurs, les CMA indigènes/natifs du sol de Leboudi 2 révèlent les meilleures performances telles que présentées par la croissance dans les traitements NS de toutes les essences. La non inoculation des sols naturels de Leboudi 2 avec des CMA exogènes pourrait être la preuve de l'efficacité des CMA natifs sur les plantes cultivées dans les substrats NS. Les CMA natifs sont considérés comme des champignons mutualistes généralement plus efficaces que les champignons non indigènes, ceci probablement en raison de leur adaptation à des facteurs édaphiques tels que les concentrations de nutriments dans le sol ou à des facteurs environnementaux tels que la sécheresse, la pollution des métaux lourds [26 - 28]. Cependant ils sont souvent comparés de manière non équitable avec les CMA exogènes présentant quelques fois un potentiel supérieur à celui des indigènes. C'est ainsi que les quantités d'inoculum à tester (entre natif et exogène) sont souvent différentes, induisant différents niveaux de colonisation racinaire. En outre, une seule espèce non indigène de CMA est souvent comparée à des mélanges d'espèces indigènes [29].

4-2. Effets des CMA et de la nature du substrat sur les différentes essences

Chez *Mansonina altissima* et *Milletia laurentii*, les traitements combinés BT7S, BT7NS et WT7S, WT7NS présentent de meilleures performances en termes de croissance végétative. Cette croissance positive serait influencée par la spécificité génétique de ces plantes, les CMA associés et la nature du substrat. Ces facteurs favoriseraient une meilleure efficacité symbiotique, ce qui multiplierait les chances d'acquisitions des ressources hydrominérales adéquates pour booster leur croissance. Les résultats similaires ont été observés sur *Passiflora edulis*. En effet, l'apport en mélange de CMA permet d'améliorer la biomasse de cette plante

peu importe la nature du substrat (stérilisé ou non) [30]. Par ailleurs, le rôle des CMA, lorsque la symbiose s'établit, est d'améliorer l'acquisition, par la plante, des nutriments qui font défaut dans le sol, par le biais de filaments mycéliens [31 - 34]. La comparaison des traitements homologues (BT7S, BT7NS et WT7S, WT7NS) en fonction de la nature du substrat permet de noter que les BT7NS et WT7NS donnent une meilleure réponse végétative. Le mélange des espèces exogènes et natives de CMA induirait une synergie efficace avec ces essences forestières. En effet, les souches natives sont continuellement impliquées dans la nature au sein d'une multitude de symbioses avec une grande diversité floristique. Cette implication les prédisposerait biologiquement à facilement entreprendre de nouvelles associations avec d'autres espèces pouvant être domestiquées. Des résultats similaires sont obtenus par [11]. En outre, l'effet de deux souches de CMA (*Rhizophagus clarus* et *Acaulospora colombiana*) sur *Ilex paraguariensis* en présence des sols non stérilisés a permis d'observer que ces deux champignons augmentent significativement la biomasse sèche de la plante [35]. Un apport de *Glomus sp.*, *Gigaspora albida* et *G. decipens* sur *Eucalyptus camaldulensis* dans le substrat non stérilisé améliore la taille et la biomasse de cette plante [36]. En guise de confirmation de l'efficacité du substrat stérilisé, une application de dix souches de CMA sur *Piper mullesua* dans un sol stérilisé et non stérilisé permet d'observer que toutes ces souches améliorent la croissance de cette plante quel que soit le type de sol (stérile et non stérile) par rapport à leur témoin correspondant [37]. Par ailleurs, ces auteurs enregistrent que, l'inoculation sur sol non stérilisé de ces souches permet de donner de meilleures valeurs de croissance sur sol stérilisé. Dans le cas de *Diospyros crassiflora*, seuls ET4S et ET4NS ont induit de meilleurs résultats. Contrairement au Bété et Wengué, où la meilleure performance est issue de la combinaison des CMA, chez *D. crassiflora*, c'est l'inoculation monospécifique qui produit le résultat le plus élevé, la souche de CMA impliquée étant *Entrophospora colombiana*, absente initialement dans le sol utilisé pour la croissance des plants. Elle pourrait donc être fortement compatible et idéale pour booster la croissance de l'Ebène.

E. colombiana en coexistence avec les souches natives du sol (*Acaulospora tuberculata*, *Gigaspora margarita* et *Scutellospora gregaria*) serait en compétition avec celles-ci dans le substrat non stérilisé. Cette situation justifie la réduction de son efficacité comme observé en ET4NS par rapport à ET4S. Des résultats similaires ont été obtenus sur *Lygeum spartum* et *Anthyllis cytisoides* [11] et à travers l'effet des mycorhizes sur la productivité de Légumineuses [38]. Par ailleurs, *Glomus intraradices* dans le sol stérilisé a permis d'avoir des valeurs de croissance largement supérieures à celles en champ (sol non stérilisé) sur une espèce d'*Acacia*. En outre, que l'on soit sur sol stérilisé ou non, les effets bénéfiques peuvent se maintenir vis-à-vis de la plante hôte par rapport aux témoins [39, 40]. De plus, l'application de *G. albida* et *S. heterogama* sur *P. edulis* permet de noter que, la biomasse de cette plante sur sol stérilisé doublait par rapport à son homologue sur sol non stérilisé [30]. Aussi, *Glomus mosseae* et *G. aggregatum* sur substrat stérilisé améliorent la nutrition minérale et par conséquent la taille de *Chenopodium quinoa* [41]. L'utilisation de *Funneliformis mosseae* sur *Zelkova serrata* aboutit également au même résultat [42]. L'effet des souches de *G. mosseae*, *G. fasciculatum* et *G. intraradices* sur *Arachis hypogaea*, en fonction de la nature des substrats (stérilisé et non stérilisé), permet d'observer qu'indépendamment de la nature du substrat ces souches améliorent la croissance, la biomasse et le rendement de cette plante par rapport au témoin. Toutefois, un effet contradictoire entre ces deux auteurs est noté au niveau de la comparaison de l'effet des CMA sur sol stérilisé et non. Les meilleures performances de ces souches (*G. mosseae* et *G. fasciculatum*) pour ces paramètres sont enregistrées sur sol stérilisé [43]. Par contre, en utilisant *G. intraradices*, les plantes sur sol non stérilisé avaient de meilleurs résultats [44]. Cette divergence de résultats pourrait être liée à la spécificité génétique de ces souches, à la variabilité des conditions environnementales associées à ces deux expérimentations, à la quantité d'inoculum utilisé et bien d'autres. Quel que soit le type de sol (stérilisé ou non), un effet positif de l'inoculation mycorhizienne est observé sur le développement de la plante hôte (Sorgho) [45]. En outre, l'effet de l'inoculation avec le CMA serait fonction du potentiel mycorhizien et microbien du sol de la culture [46, 47]. Concernant le comportement physiologique des essences dans le sol stérilisé ou non, les trois espèces,

M. altissima, *M. laurentii* et *D. crassiflora*, donnent des meilleures valeurs de teneur en chlorophylle pour les traitements combinés BT7NS, WT7NS et non combiné ET4S. Le résultat obtenu dans le cas de *D. crassiflora* est similaire à celui de [37] qui observent que la teneur en chlorophylle chez *Piper mullesua* sur substrat stérilisé est plus élevée qu'en substrat non stérilisé. Par ailleurs, l'apport en CMA quel qu'en soit la nature du substrat induisait un accroissement en taux de chlorophylle de cette plante par rapport au témoin non inoculé. En plus, les endomycorhizes à arbuscules contribuent à améliorer différents mécanismes physiologiques tels que la conductance des stomates [48] et la photosynthèse [49, 50]. Ainsi, un apport de CMA tel que *Funneliformis mosseae* et une association de *Glomus sp.*, *Gigaspora albida* et *Gigaspora decipens* sur un substrat stérilisé parviennent à améliorer significativement la teneur en Phosphore, Magnésium et Azote, indispensables à la biosynthèse de la chlorophylle respectivement chez *Zelkova serrata* et *Eucalyptus camaldulensis* [36, 42]. Les améliorations morphologiques et physiologiques notées chez BT7NS, WT7NS et ET4S pourraient donc être attribuées à l'efficacité de la symbiose mycorhizienne. S'agissant de l'aspect mycorhizien, dans les sols non stérilisés, les valeurs élevées de la colonisation racinaire pour les cas de BT7NS et WT7NS sont couplées à de faibles dépendances mycorhiziennes. Ceci pourrait être justifié non seulement par une compétition entre les souches exogènes et natives mais aussi par le temps d'accommodation des souches exogènes au nouveau milieu de culture et par l'amélioration des conditions édaphiques. En plus, le niveau de richesse en nutriments du sol pourrait limiter l'efficacité de l'association plante-CMA. Une colonisation racinaire et une dépendance mycorhizienne (DM) élevées chez ET4S traduit une efficacité significative dans la synergie symbiotique plante-champignon (*D. crassiflora* – *E. colombiana*). Des résultats similaires ont permis d'observer une DM significativement élevée sur sol stérilisé par rapport au sol non stérilisé pour *Rhizoglyphus clarum* et *Citrus aurantium* [51]. Il est aussi à relever que l'augmentation de la colonisation racinaire serait indirectement liée à la croissance de la plante, celle-ci pouvant être due à la teneur en matière organique naturellement présente dans le sol. Cette matière organique favoriserait en toute logique l'accroissement de l'activité biologique du sol et par conséquent la croissance de ces champignons [37]. De plus, la colonisation racinaire élevée pourrait être expliquée par la mycotrophie élevée d'une plante [52]. En générale la colonisation par les CMA est connue avoir un effet positif sur la croissance des plantes, mais l'état physiologique du sol pourrait directement impacter la relation symbiotique entre le champignon et la plante [53].

5. Conclusion

Cette étude révèle que les sols de Leboudi 2 contiennent une diversité de CMA natifs qui, en synergie avec des souches mycorhiziennes exogènes améliorent significativement la croissance de *Millettia laurentii* et *Mansonina altissima*. Par ailleurs, l'inoculation de *E. colombiana* seul sur substrat stérilisé produit de meilleures réponses pour *Diospyros crassiflora*. Ainsi, pour la régénération avec optimisation chez *D. crassiflora*, l'utilisation de *E. colombiana* comme souche mycorhizienne est recommandée tandis que pour *M. laurentii* et *M. altissima*, la combinaison des différentes espèces de CMA est indiquée. L'application de ces propositions devrait être élargie au sein des programmes de régénération des essences forestières appartenant à la même famille que celles utilisées dans le cadre de cette expérimentation. Ceci permettrait d'augmenter la réussite dans les programmes de conservation et de reboisement des espèces ligneuses menacées.

Références

- [1] - FRA, Evaluation des ressources forestières nationales du Cameroun. Editeur : FAO, Rome, (2005) 48 p.
- [2] - C. F. GONMADJE, J-B. DONFACK & J. KENGUE, L'Etat des ressources génétiques forestières mondiales : Rapport national sur l'état des ressources génétiques forestières du Cameroun, (2010) 97 p.
- [3] - I. VITOEKPON, A. C. ADOMOU & M. OUMOROU, Statut de Conservation des Peuplements à *Mansonia altissima* dans la forêt sacrée D'Ewe-Adakplam au Bénin. *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, 32 (2018) 350 - 370
- [4] - WCMC, Global Biodiversity : Status of the Earths Living Resources. Chapman and Hall, London, (1992)
- [5] - J. M. ONANA, The vascular plants of Cameroon. A taxonomic checklist with IUCN assessments. *Royal Botanic Garden*, (2011) 195 p.
- [6] - F. SEPULCHRE, K. DAINOU & J.-L. DOUCET, Étude de la vulnérabilité de 18 essences ligneuses commerciales d'Afrique centrale reprises sur la liste rouge IUCN. Editeurs : Nature+, atibt, Faculté universitaire des sciences agronomiques de Gembloux, (2008) 51 p.
- [7] - A. C. ADOMOU, Vegetation Patterns And Environmental Gradients In Benin : Implications for biogeography and conservation, (2005) 150 p.
- [8] - H. YEDOMONHAN, A. C. ADOMOU, M. AGUESSY & F. G. BOSSOU, Evaluation des caractéristiques ethnobotaniques et structurales de *Nesogordonia kabingaensis* (K. Schum.) Capuron ex R. Germ. (*Sterculiaceae*) dans la forêt sacrée d'Èwè au Bénin en vue de la définition des stratégies de sa conservation. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 11 (5) (2017) 2481 - 2494
- [9] - A. A. WEDJANGNON, T. HOUETCHEGNON & C. OUIINSAVI, Caractéristiques ethnobotaniques et importance socio-culturelle de *Mansonia altissima* A. Chev. au Bénin, Afrique de l'Ouest. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 29 (3) (2016) 4678 - 4690
- [10] - R. DUPONNOIS, A. M. BA, Y. PRIN, E. BAUDOIN, A. GALIANA & B. DREYFUS, Rapport : Les champignons mycorrhiziens : une composante majeure dans les processus biologiques régissant la stabilité et la productivité des écosystèmes forestiers tropicaux. *Le projet majeur africain de la grande muraille verte*, (2010) 20 p.
- [11] - G. DJAZ & M. HONRUBIA, Effect of native and introduced arbuscular mycorrhizal fungi on growth and nutrient uptake of *Lygeum spartum* and *Anthyllis cytisoides*. *Biologia Plantarum*, 37 (1) (1995) 121 - 129
- [12] - T. CROSSAY, Caractérisation taxonomique des champignons mycorrhiziens à arbuscules natifs des sols ultramafiqes de Nouvelle-Calédonie ; analyse de leur synergie permettant l'adaptation des plantes à ces milieux extrêmes. Thèse de Doctorat en Sciences de l'Université de la Nouvelle-Calédonie, (2018) 309 p.
- [13] - L. C. BILOA, A. B. MBARGA, A. M. ANGUE & D. NWAGA, Evaluation of the ability of soil microorganisms and mycorrhizal fungi to promote rooting and development of *Gnetum* spp. cuttings. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 13 (2) (2019) 610 - 623
- [14] - J. W. GERDEMANN & T. H. NICOLSON, Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet-sieving and decanting. *Mycol. Soc.*, 46 (1963) 235 - 244
- [15] - J. B. MORTON & G. L. BENNY, Revised classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Zygomycetes): a new order, Glomales, two new suborders, *Glomineae* and *Gigasporineae*, and two new families, *Acaulosporaceae* and *Gigasporaceae*, with an emendation of *Glomaceae*. *Mycotaxon*, 37 (1990) 471 - 491
- [16] - J. B. MORTON, Taxonomy of VA mycorrhizal fungi - Classification, nomenclature, and identification. *Mycotaxon*, 32 (1988) 267 - 324
- [17] - D. M. ESSONO, D. NWAGA, B. M. A. MBARGA, N. G. TSALA, S. ADAMOU, W. MALLA, J. T. TAWE & L. D. KONO, *Milletia Laurentii* De Wild: Germination capacity and interest of beneficial micro-organisms for the production of woody plants. *World Wide Journal of Multidisciplinary Research and Development*, 3 (9) (2017) 115 - 121
- [18] - A. ATI & A. K. ADAMU, Effect of combined doses of gamma ray and sodium azide (mutagenic agents) on the morphological traits of some varieties of okra (*Abelmoschus esculentus*). *African journal of Agricultural Research*, 11 (32) (2016) 2968 - 2973

- [19] - B. KONATE, R. NANA, S. L. NANEMA, B. BADIÉL, M. SAWADOGO & Z. TAMINI, Réponse morphophysiological du gombo [*Abelmoschus esculentus*(L.) Moench] soumis à la biofertilisation et à des stress hydriques. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 10 (5) (2016) 2108 - 2122
- [20] - F. BOUSSELMAME, L. KENNY & M. ACHOURI, Effet des mycorhizes à vésicules et arbuscules sur la croissance et la nutrition de l'arganier (*Argania spinosa* L.). *Actes Inst. Agron. Vet.*, 22 (4) (2002) 193 - 198
- [21] - M. ROTHE, Influence de l'irrigation et de la fertilisation sur la croissance et le développement végétatifs de l'ananas Victoria à La Réunion et modélisation du bilan hydrique associé. Mémoire de Fin d'Études, *CIRAD-PERSYST UPR 26 et AGROCAMPUS OUEST*, (2012) 62 p.
- [22] - D. I. ARNON, Copper enzymes isolated chloroplast, polyphenoloxidases in *Beta vulgaris*. *Plants physiology*, 24 (1949) 1 - 15
- [23] - C. PLENCHETTE, Utilisation des mycorhizes en agriculture et horticulture. In : « mycorhizes des arbres et plantes cultivées ». Ed. D.G. Strullu, Lavoisier (Tec. et Doc.), Paris, France, (1991) 131 - 177 p.
- [24] - M. E. L. NGONKEU, Biodiversité et potentiel des mycorhizes à arbuscules de certaines agro-écologiques du Cameroun. Thèse de Doctorat 3ème Cycle, Université de Yaoundé I, (2003) 259 p.
- [25] - D. NWAGA, B. MBARGA, E. H. BIYE, E. R. ATANGANA & M. E. L. NGONKEU, Diversité des mycorhizes arbusculaires et biomasse microbienne du sol des forêts denses humides du Cameroun : effet des systèmes d'utilisation des terres. *Ann. de la fac. des sciences Univ. De Yaoundé I*, 35 (2) (2003) 18 - 27
- [26] - R. S. OLIVEIRA, M. VOSATKA, J. C. DODD & P. M. L. CASTRO, Studies on the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi and the efficacy of two native isolates in a highly alkaline anthropogenic sediment. *Mycorrhiza*, 16 (2005) 23 - 31
- [27] - J. I. QUEREJETA, M. F. ALLEN, F. CARAVACA & A. ROLDAN, Differential modulation of host plant by native and nonnative arbuscular mycorrhizal fungi in a semiarid environment. *New Phytol.*, 169 (2006) 379 - 387
- [28] - H. AMIR, P. JOURAND, Y. CAVALOC & M. DUCOUSSO, Role of mycorrhizal fungi on the alleviation of heavy metal toxicity on plant. In Solaiman (Ed.), *Mycorrhizal fungi : Use in sustainable agriculture and forestry (Springer.) Soil Biology Series*, (2013)
- [29] - R. CALVENTE, C. CANO, N. FERROL, C. AZCON-AGUILAR & J. M. BAREA, Analysing natural diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in olive tree (*Olea europaea* L.) plantations and assessment of the effectiveness of native fungal isolates as inoculants for commercial cultivars of olive plants. *Appl. Soil Ecol.*, 26 (2004) 11 - 19
- [30] - M. T. C. UIDED, C. M. LEONOR, M. C. C. CYNTHIA & F. S. VENÉZIO, Mycorrhizal dependency of passion fruit (*Passiflora edulis. flavicarpa*). *Fruits*, 56 (5) (2001) 317 - 324
- [31] - A. F. FALL, N. GRACE, S. JOSEPH, F.-M. HASSNA, O. A. SAMUEL, N. ABIBATOU, B. ARFANG & N. KHADY, Roles of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Soil Fertility: Contribution in the Improvement of Physical, Chemical, and Biological Properties of the Soil. *Frontiers in Fungal Biology*. Ed. Paola Angelini, (2019) 12 p.
- [32] - R. C. VERONIKA, N. EMA, S. IVA, C. ALENA & G. MILAN, Arbuscular Mycorrhizal Fungus Funneliformis mosseae Improves Soybean Growth Even in Soils with Good Nutrition. *Microbiology research*, 14 (2023) 1252 - 1263
- [33] - M. A. OPOKU, R. SERGIO & Y. F.-HANS, Review : Potential Roles of Soil Microorganisms in Regulating the Effect of Soil Nutrient Heterogeneity on Plant Performance. *Microorganisms*, 10 (2022) 1 - 17
- [34] - O. A. ABDULBASIT, The effect of mycorrhiza on the growth, yield and germination of sesame. *ResearchGate*, (2023) 47 p. <https://www.researchgate.net/publication-/376392523>
- [35] - D. TOMAZELLI, D. R. TÁSSIO, D. C. MURILO, C. P. S. JÚLIO, P. SILMAR, K.-F. OSMAR, Inoculation of Arbuscular Mycorrhizal Fungi Improves Growth and Photosynthesis of *Ilex paraguariensis* (St. Hil) Seedlings. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 65 (2022) 1 - 11
- [36] - K. CHAIYA, L. SAISAMORN, W. K. THOMAS & B. SOPHON, Colonization by arbuscular mycorrhizal fungi improves salinity tolerance of eucalyptus (*Eucalyptus camaldulensis*) seedlings. *Scientific Reports*, 11 (2021) 1 - 10

- [37] - B. ARUNDHATI & A. K. SHUKLA, Effect of Mycorrhizal Application on Plant Growth and Nutrient Uptake of *Piper mullesua* Plantlets under Sterilized, Unsterilized and Field Soil Condition. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.*, 9 (5) (2020) 2948 - 2960
- [38] - R. G. LINDERMAN, Vesicular-arbuscular mycorrhizae and soil microbial interaction. In G J. Bethlenfalvay & R. G. Linderman (eds.). *Mycorrhizae in sustainable agriculture*, Special Publication No. 54. Madison, Wisconsin : *American Society of Agronomy*, (1992)
- [39] - A. BILGO, S. K. SANGARE, J. THIOULOUSE, Y. PRIN, V. HIEN, A. GALIANA, E. BAUDOIN, M. HAFIDI, A. M. BÂ & R. DUPONNOIS, Response of native soil microbial functions to the controlled mycorrhization of an exotic tree legume, *Acacia holosericea* in a Sahelian ecosystem. *Mycorrhiza.*, (2011) doi 10.1007/s00572-011-0390-2
- [40] - A. BILGO, A. SANON, S. K. SANGARE, P. DABIRE, V. HIEN & R. DUPONNOIS, Fertilité des sols et gestion du potentiel infectieux mycorrhizien. *ResearchGate*, (2013) 31 p.
- [41] - S. PRASHANTHI & M. MAMATHA, Effect of Vesicular-Arbuscular Mycorrhiza (VAM) and PGPR on plant growth response of two cultivars of *Chenopodium quinoa* Willd (INIA —427, INIA- 431) in both field and pot experiments. *Research Journal of Science and Technology*, 04 (02) (2022) 001 - 008
- [42] - W. JINPING, F. ZHIYUAN, R. QIONG, Z. LINGJUN, L. JIE, Z. JINCHI, C. XUEFEI, M. JIEYI & Y. JIANMIN, Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Growth, Photosynthesis, and Nutrient Uptake of *Zelkova serrata*(Thunb.) Makino Seedlings under Salt Stress. *Forests*, 10 (186) (2019) 1 - 16
- [43] - S. AL-K. ABDULLA, Effects of Arbuscular Mycorrhization in Sterile and Non-sterile Soils. *Tropical Life Sciences Research*, 21 (1) (2010) 55 - 70
- [44] - D. V. SUBHASHINI, Improved growth and Nutrient uptake in Peanut inoculated with *Glomus intraradices*. *Ann. Pl. Protec. Sci.*, 24 (1) (2016) 145 - 147
- [45] - A. P. DABIRÉ, V. HIEN, M. KISA, A. BILGO, K. S. SANGARE, C. PLENCHETTE, A. GALIANA, Y. PRIN & R. DUPONNOIS, Responses of soil microbial catabolic diversity to arbuscular mycorrhizal inoculation and soil disinfection. *Mycorrhiza*, 17 (2007) 537 - 545
- [46] - D. M. SYLVIA, Inoculation of native woody plants with vesicular—arbuscular mycorrhizal fungi for phosphate mine lands reclamation. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 31 (1990) 253 - 261
- [47] - R. DUPONNOIS, C. PLENCHETTE, J. THIOULOUSE & P. CADET, The mycorrhizal soil infectivity and arbuscular mycorrhizal fungal spore communities in soils of different aged fallows in Senegal. *Applied Soil Ecology*, 17 (2001) 239 - 251
- [48] - R. M. AUGÉ, H. D. TOLER & A. M. SAXTON, Arbuscular mycorrhizal symbiosis alters stomatal conductance of host plants more under drought than under amply watered conditions : a meta analysis. *Mycorrhiza*, 25 (2015) 13 - 24
- [49] - S. CHEN, H. ZHAO, C. ZOU, Y. LI, Y. CHEN, Z. WANG, Y. JIANG, A. LIU, P. ZHAO, M. WANG & G. J. AHAMMED, Combined Inoculation with Multiple Arbuscular Mycorrhizal Fungi Improves Growth, Nutrient Uptake and Photosynthesis in Cucumber Seedlings. *Front. Microbiol.*, 8 (2017) 1 - 11
- [50] - T. SUMAIRA, S. C. MUHAMMAD, D. ALLAH, H. IQBAL, P. ABIDA, U. NASEER, M. QAISAR, AL-A. IBRAHIM & EL-S. AYMAN, Impact of Mycorrhizal Fungi from Different Rhizospheric Soils on Fungal Colonization, Growth, and Chlorophyll Contents of *Cenchrus ciliaris*. *Agronomy*, 12 (2022) 2 - 18
- [51] - I. ORTAS, A. DEMIRBAS & C. AKPINAR, Under sterilized and non-sterilized soil conditions, mycorrhizal dependency in citrus plants depends on phosphorus fertilization rather than zinc application. *Eur. J. Hort. Sci.*, 83 (2) (2018) 81 - 87
- [52] - E. H. M. LEYE, M. NDIAYE & M. DIOUF, Etude comparative de l'effet de souches de champignons Mycorrhiziens arbusculaires sur la croissance et la nutrition Minérale du sésame cultivé au Sénégal. *African Crop Science Journal*, 23 (3) (2015) 211 - 219
- [53] - J. K. SANG, E. JU-KYEONG, L. EUN-HWA, P. HYEOK & E. AHN-HEUM, Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Soil Conditions on Crop Plant Growth. *Mycobiology*, 45 (1) (2017) 20 - 24