

IMPACT DES PROPRIETES PHYSICOCHIMIQUES DES SOLS DE CULTURE DU MANIOC SUR L'ABONDANCE ET LA DIVERSITE DES COMMUNAUTES DE CHAMPIGNONS MYCORHIZIENS À ARBUSCULES DANS LA ZONE AGROECOLOGIQUE D'AZAGUIE, SUD-EST DE LA CÔTE D'IVOIRE

D.-R. R. BIVOKO¹, S. L. AHONZO-NIAMKE² and A. ZEZE¹

¹Groupe de Recherche sur les Biotechnologies Végétale et Microbienne, Ecole Supérieure d'Agronomie, Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny. E-mail : youhe.deba@gmail.com

²Laboratoire de Biotechnologie de l'Unité de Formation et de Recherche en Biosciences de l'Université Félix Houphouët-Boigny, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

RESUME

En Côte d'Ivoire, la baisse de la fertilité des terres de culture du manioc, est à l'origine des rendements faibles. L'utilisation de l'effet bénéfique des champignons mycorhiziens arbusculaires (CMA) pourrait améliorer durablement ces rendements. Ce travail a pour but de mettre en évidence l'écologie, la diversité et la structuration des communautés de CMA endogènes associés à la culture du manioc dans les sols de la zone agroécologique d'Azaguié. Les études ont été menées à partir des sols de champs de manioc (Ahoua 1, Ahoua 2, Mbromé 1, Mbromé 2). Ces sols étaient très acides (pH inférieurs à 5,17), pauvres en bases échangeables (CEC inférieures à 17,1 cmol/kg), en phosphore assimilable (P. assimilable inférieur à 30,71 ppm) et en matière organique. Il a été dénombré 44 espèces de CMA réparties en treize genres. Les genres *Glomus* (55,17 %) et *Acaulospora* (30,14 %) sont les plus abondants. Les densités des spores de CMA, sont inférieures à 14,68 spores.g⁻¹. La proportion moyenne de spores non-viables (55 %) est élevée. Il a été noté des corrélations positives entre les communautés de CMA et le magnésium (R = 0,65), la CEC (R = 0,69), l'argile (R = 0,74) et le limon grossier (R = 0,79). Par contre des corrélations négatives ont été obtenues avec le sable fin (R = -0,60) et le sable grossier (R = -0,59).

Mots clés : Manioc, Azaguié, Côte d'Ivoire, champignons mycorhiziens à arbuscules.

ABSTRACT

INFLUENCE OF CASSAVA SOILS PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES ON THE ABUNDANCE AND DIVERSITY OF ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI COMMUNITIES IN AZAGUIÉ AGROECOLOGICAL AREA, SOUTH-EAST CÔTE D'IVOIRE

*In Côte d'Ivoire, the decline in cassava soil fertility is causing low yields. The use of the beneficial effect of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) can sustainably improve the yields. The aim of this study was to highlight the ecology, diversity and community structure of endogenous CMA associated with cassava. The studies were conducted using cassava field soils (Ahoua 1 Ahoua 2 Mbromé 1 Mbromé 2). These soils were very acidic (pH less than 5.17), with low exchangeable bases capacities values (CEC less than 17.1 cmol / kg), low available phosphorus levels (available P less than 30.71 ppm) and poor organic matter proportions. Thirteen AMF genera comprising 44 species were identified. The genera *Glomus* (55.17 %) and *Acaulospora* (30.14 %) were the most abundant. AMF spores densities were (8.42 and 14.68 spores.g⁻¹). The proportion of non-healthy spores was 55 %. There were positive correlations between AMF communities and magnesium (R = 0.65 and 0.59), CEC (R = 0.69), clay (R = 0.74) and coarse silt (R = 0.79) and negative correlations were obtained with fine sand (R = -0.60) and coarse sand (R = -0.59).*

Key words : Cassava, Azaguié Côte d'Ivoire, arbuscular mycorrhizal fungi.

INTRODUCTION

Le manioc (*Manihot esculenta*, Crantz) est un arbuste vivace de la famille des Euphorbiaceae, originaire d'Amérique centrale et d'Amérique du Sud, plus particulièrement du sud-ouest du bassin amazonien (Gulick *et al.*, 1983). Il est aujourd'hui largement cultivé et récolté comme plante annuelle dans les régions tropicales et subtropicales. Il a été introduit sous les climats tropicaux par les portugais dès le XVI^e siècle, depuis le rivage saharien jusqu'à la forêt équatoriale (Silvestre et Arreaudau 1983). Cette plante peut servir de culture de subsistance ou de rente (de Foresta et Schwartz 1991). Elle représente une culture stratégique pour la lutte contre la famine et la pauvreté en Afrique de l'Ouest en général (Ugwu et Ukpai, 2002).

En Côte d'Ivoire, le manioc se cultive aussi bien en zone forestière humide au sud qu'en savane sèche au nord (Camille, 1984), avec toutefois, une prédominance en zone forestière (Kouadio *et al.*, 2010). La localité d'Azaguié, située au Sud-Est de la Côte d'Ivoire en zone forestière, fait partie des régions pionnières de la production du manioc de ce pays (Chaléard, 1988). Le système de culture du manioc utilisé dans cette localité est caractérisé par une agriculture manuelle extensive du type défriche-brûlis, avec un faible apport d'intrants. Dans cette pratique culturale, la jachère occupe une place de choix dans la reconstruction de la fertilité des sols (Kouakou, 1990). Cependant, dans la zone forestière ivoirienne, l'extension en surface des cultures pérennes de rente restreint les terres cultivables et oblige les agriculteurs à écourter la durée de la jachère (Ndabalishye, 1995). Ce sont donc des parcelles de qualité médiocre (phosphore assimilable < 50 ppm, CEC < 10 cmol.kg⁻¹, taux de matière organique < 2 %, niveau de topographie) cultivée sur de longues périodes qui sont consacrées à la culture du manioc (Rafaillac et Nedelec, 1984). En effet, le manioc peut pousser dans des sols dont le niveau de fertilité est trop bas pour soutenir d'autres cultures et est, par conséquent, souvent planté dans les zones marginales (Yaninek et Schulthess, 1993). Ce qui explique la baisse des rendements dans la région (FAO-STAT, 2013) alors que la demande du manioc sur les marchés urbains et internationaux (Dostie *et al.*, 1999) est de plus en plus croissante. Vu le rôle social et économique acquis par la culture du manioc dans les sociétés ivoiriennes et dans la région d'Azaguié en particulier, il est important

de reconstituer la fertilité des sols de culture du manioc tout en préservant les équilibres écologiques.

La microflore symbiotique à travers sa diversité et son abondance, joue un rôle fondamental dans la restauration et le maintien de la fertilité des sols, dans la protection contre certains pathogènes telluriques (Waples et Gaggioti 2006) et dans la nutrition minérale des plantes (Jakobsen *et al.*, 2002). Des solutions alternatives pour améliorer durablement le rendement du manioc en Côte d'Ivoire pourraient consister en l'utilisation de l'effet bénéfique des champignons mycorrhiziens arbusculaires (CMA). En effet, les CMA facilitent l'absorption des éléments minéraux notamment le Phosphore (P) du sol qui est indispensable à la bonne productivité du manioc (Howeler, 1985). Toutefois, la répartition, l'abondance et la viabilité des espèces de CMA endogènes résultent d'un ensemble de processus écologiques contemporains (Shukla *et al.*, 2009) qui peuvent être la variété de manioc, le système cultural et les propriétés physiques et chimiques du sol. L'objectif général de cette étude est de mettre en évidence l'écologie, la diversité et la structuration des communautés de CMA endogènes associés à la culture du manioc dans les sols de la zone agroécologique d'Azaguié.

Trois objectifs spécifiques découlent de cet objectif général : (1) déterminer les caractéristiques physicochimiques des sols dans les champs de manioc à Azaguié, (2) déterminer la structuration et la diversité des communautés de CMA (3) mettre en évidence de l'impact de la qualité physicochimique des sols de la culture du manioc sur la structuration et la diversité des communautés de champignons endomycorhiziens.

MATERIEL ET METHODES

ZONE D'ETUDE

Azaguié (Figure 1) est situé au Sud-Est de la Côte d'Ivoire. Le climat y est chaud (supérieur à 27 °C) et ensoleillé avec quatre saisons (deux saisons de pluie et deux saisons sèches) (Mollard, 1993). La moyenne annuelle des précipitations est de 1 700 mm (Mollard, 1993). Azaguié est situé en zone forestière mais aujourd'hui une vue panoramique de la végétation présenterait de vastes plantations de bananiers

et des touffes de forêts par endroit. Le sol d'Azaguié appartient à la catégorie des sols ferrallitiques (Perraud, 1971). Le taux de matière organique, la capacité d'échange cationique et le taux de saturation en bases des sols ferrallitiques de la région sont faibles (Perraud, 1971).

Il a été retenu, dans le cadre de cette étude, quatre champs de manioc dont les surfaces sont supérieures à 1 ha, sur lesquels il n'est appliqué aucun produit photochimique et dont l'âge est

supérieur à six mois. Aussi une fiche d'enquête a-t-elle permis de recueillir des informations sur les pratiques culturales, les types de rotation et les variétés cultivées.

Ce sont les champs : Ahoua 1 (5°40.351' et 5°40.381' Nord ; 004°02.523' et 004°02.557' Ouest), Ahoua 2 (05°38.572' et 05°38.605' Nord ; 004°03.306' et 004°03.409' Ouest), Mbromé 1 (05°39.599' et 05°39.638' Nord ; 004°08.959' et 004°09.000' Ouest) et Mbromé 2 (05°39.979' et 05°40.083' Nord ; 004°08.720' et 004°08.724' Ouest).

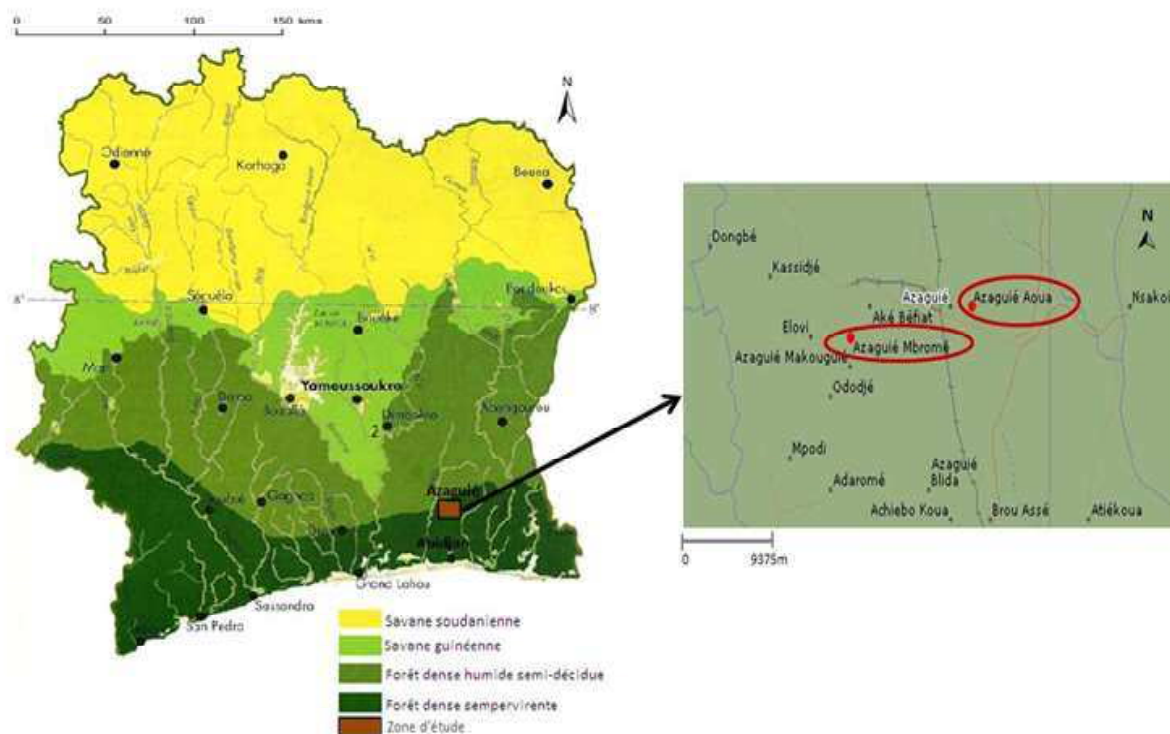


Figure 1 : La zone agroécologique d'Azaguié.

Azaguié agroécological area.

ECHANTILLONNAGE

L'échantillonnage a été effectué durant le mois de Décembre en saison sèche. Trois échantillons de sols ont été prélevés dans chaque champ, en 3 points distants de 20 m minimum. A partir de chaque point, deux cercles concentriques de rayon de 3 m et 6 m sont délimités. Sur le premier cercle, il est défini quatre points de prélèvements élémentaires équidistants et sur le deuxième cercle, il est défini 8 points de prélèvements élémentaires équidistants selon Haug et Cares (2004). On obtient ainsi 12 points de prélèvement élémentaires pour un échantillon. Ces échantillons de sol ont été prélevés au pied de plants de manioc à l'aide d'une tarière dans la strate de 0 - 20 cm de profondeur. Le sol de chaque fouille (550 à 600 g par fouille) est récupéré dans un sceau puis mélangé pour constituer un échantillon composite de 12 prélèvements élémentaires. Tout le matériel est rincé à l'eau puis désinfecté avec de l'eau de javel 12 °C diluée (10 %) avant de passer d'un échantillon à un autre.

ANALYSE PHYSICO-CHIMIQUE DES SOLS

Propriétés chimiques des sols de champs de manioc

Pour chaque échantillon de sol, 100 g ont été prélevés pour les analyses de sol. Le pH eau a été mesuré par électrométrie à l'aide d'un pH-mètre selon Pansu et Gautheyrou (2003). Les bases échangeables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+) et la CEC (cmol.kg^{-1}) ont été mesurées sur une suspension de KCl (Pansu et Gautheyrou, 2003) après agitation mécanique de 5 g de l'échantillon. Le carbone organique total a été mesuré par voie humide à température de réaction de 120 °C (méthode de Walkley et Black, 1934). La matière organique (MO) est calculée par convention internationale selon la relation suivante : $\text{M.O (\%)} = \text{carbone} \times 1,724$ (Duprarque, 2011). L'azote total a été déterminé par la méthode Kjeldahl (Bremner, 1960). Le rapport C/N a été déduit des valeurs du carbone et de l'azote total. Le phosphore (P) total, comprenant les phosphores organique et inorganique a été déterminé après minéralisation totale. Le P assimilable a été extrait dans du bicarbonate de sodium à pH 8,5 selon la méthode de Olsen (1952).

Propriétés physiques des sols de champs de manioc

La granulométrie a été établie par la méthode «Pipette Robinson» (Anderson et Ingram, 1993). Les proportions des classes de particules ont été définies selon la norme française NF X31 107 (Baize, 2000) et les textures ont été déterminées grâce au triangle textural USDA (United State Departement of Agriculture) selon Soil Survey Staff (1998).

Extraction des spores

L'extraction des spores des CMA a été effectuée selon deux méthodes : l'extraction directe et le piégeage après inoculation de plants niébé (*Vigna unguiculata* L.) ou extraction indirecte.

Extraction directe des spores

L'extraction directe des spores de CMA des sols échantillonnés a été réalisée selon la méthode du tamisage humide décrite par Gerdemann et Nicholson (1963) à l'aide de tamis de 500, 125, 90 et 45 μm disposés dans cet ordre, suivie de la méthode d'une centrifugation par saccharose à 2 500 rpm à 10 °C pendant 3 mn (INVAM, 2013).

Extraction des spores après inoculation du niébé

Dans les sols directement échantillonnés, la qualité des spores de CMA peut être moyenne et cela est due à la prédation dont elles sont victimes dans le milieu naturel (Morton, 1993). Il est donc nécessaire d'utiliser ces sols comme inoculum en vue d'obtenir en quantité des spores de bonne qualité de tout âge pour des études de systématique (INVAM, 2013). Le niébé (*Vigna unguiculata*) dont le cycle dure 60 à 70 jrs a été choisi comme plante-hôte. Des graines de niébé désinfectées à l'eau de javel 12 °C diluée (10 %) puis rincées à l'eau stérile sont pré-germées. Des plants de même taille sont sélectionnés pour être semés dans des pots en plastique contenant un mélange de 700 g de terreau préalablement stérilisé à l'autoclave (110 °C, 2 kg/cm^2 , 3h) et 150 g de sol de chaque échantillon servant d'inoculum (2 plants par pot). Après 75 jours de culture, 50 g de sols de chaque échantillon séché à l'air libre est utilisé pour extraire les spores selon la méthode de tamisage humide (Gerdemann et Nicolson, 1963).

Dénombrement des spores

La procédure de dénombrement utilisée est celle recommandée par INVAM (2013). La densité de spores est déterminée pour chaque échantillon de sol (spores.g⁻¹). Au cours du dénombrement une discrimination a été établie entre les spores viables et les spores non-viables. Ces dernières sont dégradées ou flottent dans le surnageant.

Identification morphologique

L'identification morphologique des CMA est basée sur l'observation des paramètres morphologiques des spores dans du PVLG + de réactif de Melzer (1 :1, v/v) ; le réactif de Melzer est préparé à partir de 100 g d'hydrate de chlore, 1,5 g d'iode, 5 g d'iodure de potassium et 100 g d'eau distillée. Les montages réalisés entre lames et lamelles ont été observés sous un microscope optique (EUROMEX Holland CSL/CKL) puis photographiés à l'aide d'un appareil numérique (CANON IXUS 130 14.1 Méga Pixels) fixé au microscope. Les spores observées et décrites ont été identifiées à l'aide de la clé de Schenck et Pérez (1990), des collections d'espèces de Blaszkowski (2013), et d'INVAM (2013).

ANALYSE STATISTIQUES

Les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel STATISTICA version 8.0.550. Pour les variances non homogènes, l'ANOVA de Kruskal-Wallis par rangs a été directement appliqué. Des relations ont été établies entre les caractéristiques physico-chimiques du sol et les populations de CMA par une Analyse en Composantes Principales (ACP) ou par le coefficient de corrélation de Spearman-R.

Afin d'évaluer la diversité, la richesse spécifique (S) correspondant au nombre total d'espèces a été déterminée, l'indice de diversité de Shannon (H) permettant d'exprimer la diversité en prenant en compte le nombre d'espèces et l'abondance des individus au sein de chacune de ces espèces a été calculé et l'équitabilité de Pielou (J) associé rendant compte de la répartition des individus au sein des espèces a été également calculé :

$$J = \frac{H}{H_{max}} ; H_{max} = \text{Log}_2 S$$

$$H = - \sum_{i=1}^S \frac{n_i}{N} \text{Log}\left(\frac{n_i}{N}\right)$$

S = nombre total d'espèces ; n_i = nombre d'individus d'une espèce dans l'échantillon ; N = nombre total d'individus de toutes les espèces dans l'échantillon ; Log = logarithme base 2 ; $H_{max} = \text{Log}_2 S$.

RESULTATS

TYOLOGIE CULTURALE DES CHAMPS DE MANIOC DANS LA ZONE AGROÉCOLOGIQUE D'AZAGUIE

Les principales caractéristiques des champs de manioc dans la zone agroécologique d'Azaguié sont données dans le tableau 1. Les champs prospectés sont des exploitations traditionnelles de 1 à 2 ha sur lesquelles il n'est appliqué aucun apport d'engrais ni de pesticides. Plusieurs variétés (Yassé, Dankoi, Akaman, ou Bonoua) sont cultivées dans un même champ de manioc. Les terres utilisées sont destinées à la seule culture du manioc. Ainsi plusieurs cycles de culture de manioc et de jachères de courtes durées (2 à 4 ans) se succèdent sur ces terres.

STRUCTURE DES SOLS DES CHAMPS DE MANIOC DE LA ZONE D'ETUDE

Les proportions granulométriques (Tableau 2) ont permis de définir selon la norme française que les sols à Ahoua 1, Ahoua 2, Mbromé 1 et Mbromé 2 ont une texture limono-sableuse. Les pH des sols à Ahoua 2, Mbromé 1 et Mbromé 2 sont compris entre 4,51 et 5,00 montrant que ces sols sont très acides. Les rapports C/N de tous les sols des quatre champs sont compris entre 6,24 et 9,66. Ces rapports sont faibles. Les proportions en matière organique des sols des quatre champs sont comprises entre 1,70 et 2,39. Les teneurs en phosphore assimilable des quatre champs comprises entre 19,26 et 30,71 ppm sont faibles. A Ahoua 1 et Ahoua 2, les valeurs de la CEC sont comprises entre 5,84 et 7,94 cmol.kg⁻¹, à Mbromé 2, la valeur de CEC est de 12,21 cmol.kg⁻¹ alors qu'elle est de 17,1 cmol.kg⁻¹ à Mbromé 1.

Tableau 1 : Principales caractéristiques des champs de manioc à Azaguié.*Main characteristics of cassava fields in Azaguié.*

Sites	Aire (ha)	Utilisation de produits phytochimiques	Système de culture	Types de rotation des cultures	Variétés de manioc
Ahoua 1	1 - 2	non	Monoculture (12 mois)	Jachère (2 ans)- Manioc	Yassé, Dankoi
Ahoua 2	1 - 2	non	Monoculture (12 mois)	Jachère (2 ans)- Manioc	Yassé, Dankoi
MBromé 1	2 - 3	non	Monoculture (8 mois)	Jachère (4 ans)- Manioc	Yassé, Dankoi
MBromé 2	2 - 3	non	Monoculture (10 mois)	Jachère (4ans)	Bonoua, AKaman, Dankoi

Tableau 2 : Caractéristiques physico-chimiques des sols de champs de manioc à Azaguié.*Soil physicochemical characteristics at different cassava cropping fields.*

Sites	Ahoua 1	Ahoua 2	Mbromé 1	Mbromé 2
Argile (%)	6,32 ^a	6,84 ^a	3,75 ^a	4,99 ^a
Limon fin (%)	11,41 ^a	20,49 ^b	23,12 ^b	23,61 ^b
Limon grossier (%)	23,30 ^a	26,78 ^b	17,20 ^a	14,96 ^a
Sable fin (%)	35,33 ^a	31,83 ^a	36,27 ^a	35,48 ^a
Sable grossier (%)	23,64 ^a	14,04 ^a	19,64 ^a	20,93 ^a
pH	5,19 ^b ± 0,132	5,00 ^{ab} ± 0,27	4,97 ^{ab} ± 0,203	4,51 ^a ± 0,31
C (%)	1,12 ^a ± 0,14	0,99 ^a ± 0,24	1,22 ^a ± 0,18	1,38 ^a ± 0,09
N (%)	0,14 ^a ± 0,05	0,15 ^{ab} ± 0,04	0,18 ^{ab} ± 0,007	0,22 ^b ± 0,01
C/N	9,66 ^a ± 2,14	6,82 ^a ± 0,45	6,72 ^a ± 0,55	6,24 ^a ± 0,17
O.M %	1,93 ^a ± 0,243	1,70 ^a ± 0,42	2,10 ^a ± 0,32	2,39 ^a ± 0,16
P. total (ppm)	227 ^a ± 44,324	243,7 ^a ± 102,84	164 ^a ± 20,46	224,3 ^a ± 25,95
P. assimilable (ppm)	29,76 ^a ± 6,734	30,71 ^a ± 9,258	19,00 ^a ± 0,816	25,00 ^a ± 3,74
CEC (cmol.kg-1)	5,84 ^a ± 1,224	7,94 ^a ± 2,57	17,1 ^b ± 5,67	12,21 ^{ab} ± 3,56
Ca ²⁺ (cmol.kg-1)	0,545 ^a ± 0,042	0,612 ^a ± 0,28	0,391 ^a ± 0,097	0,442 ^a ± 0,056
Mg ²⁺ (cmol.kg-1)	0,497 ^a ± 0,19	0,23 ^a ± 0,157	0,26 ^a ± 0,049	0,261 ^a ± 0,033
K ⁺ (cmol.kg-1)	0,039 ^a ± 0,007	0,04 ^a ± 0,006	0,043 ^a ± 0,011	0,11 ^b ± 0,052
Na ⁺ (cmol.kg-1)	0,08 ^a ± 0,091	0,24 ^a ± 0,164	0,26 ^a ± 0,077	0,24 ^a ± 0,013

Les valeurs avec des lettres différentes sont significativement différentes au seul de 5 % selon l'ANOVA de Kruskal-Wallis.

pH : potentiel de l'ion hydronium, C % : proportion en carbone organique total, N % : proportion en azote total, C/N : le rapport entre proportion en carbone organique total et proportion en azote total, OM % : la teneur en matière organique, P total : le phosphore total, P. assimilable : le phosphore assimilable, CEC : la capacité d'échange cationique, Ca²⁺ : la teneur en calcium, Mg²⁺ : la teneur en magnésium, K⁺ : la teneur en potassium, Na⁺ : la teneur en sodium.

STRUCTURE ET DIVERSITE DES COMMUNAUTES DE CMA DES SOLS DE CHAMPS DE MANIOC DE LA ZONE D'ETUDE

Treize genres de CMA repartis en 44 espèces ont été collectés dans la rhizosphère des champs de manioc de la zone agroécologique d'Azaguié (Figure 2). Pour tous les champs, le genre *Glomus* a les proportions les plus élevées (52,83 % à Ahoua 1, 41,49 % à Ahoua 2, 61,63 % à Mbromé 1 et 66,67 % à Mbromé 2) suivies des proportions du genre *Acaulospora* (33,80 % à Ahoua 1, 43,59 % à Ahoua 2, 20,38 % à Mbromé 1 et 18,40 % à Mbromé 2). Il n'existe aucune différence significative au seuil de 5 % entre les proportions de tous les autres genres. Les richesses spécifiques sont de 32 à Ahoua 1, 24 à Ahoua 2, 29 à Mbromé 1 et 20 à Mbromé 2 (Tableau 3). Dans le sol à Ahoua 1, ce sont les espèces *Glomus* sp.5 (25,69 %),

Acaulospora sp. 2 (15,29 %), *A. mellea* (11,04 %) et *Glomus glomerulatum* (10,62 %) qui ont les proportions les plus élevées. Au niveau du sol à Ahoua 2 ce sont les espèces *A. mellea* (32,40 %) et *Glomus badium* (11,89 %) qui ont les proportions les plus élevées. Dans le sol à Mbromé1, les proportions les plus élevées sont celles de *Glomus* sp.5 (17,46 %) et *A. mellea* (7,00 %). Au niveau du sol à Mbromé 2, les proportions les plus élevées sont *Glomus* sp.5 (21,35 %), *Glomus* sp.4 (16,41 %), *Glomus* sp.6 (15,36 %) et *A. mellea* (9,90 %). Dans le champ de Mbromé 1, l'indice de Shannon est égal à 4,22 pour un indice de Pielou égal à 0,97 c'est-à-dire que l'indice de Pielou est proche de la valeur 1. Au niveau des champs à Ahoua 1, Ahoua 2 et Mbromé 2, les indices de Shannon sont moyennement élevés car les indices de Pielou associés oscillent entre 0,74 et 0,78.

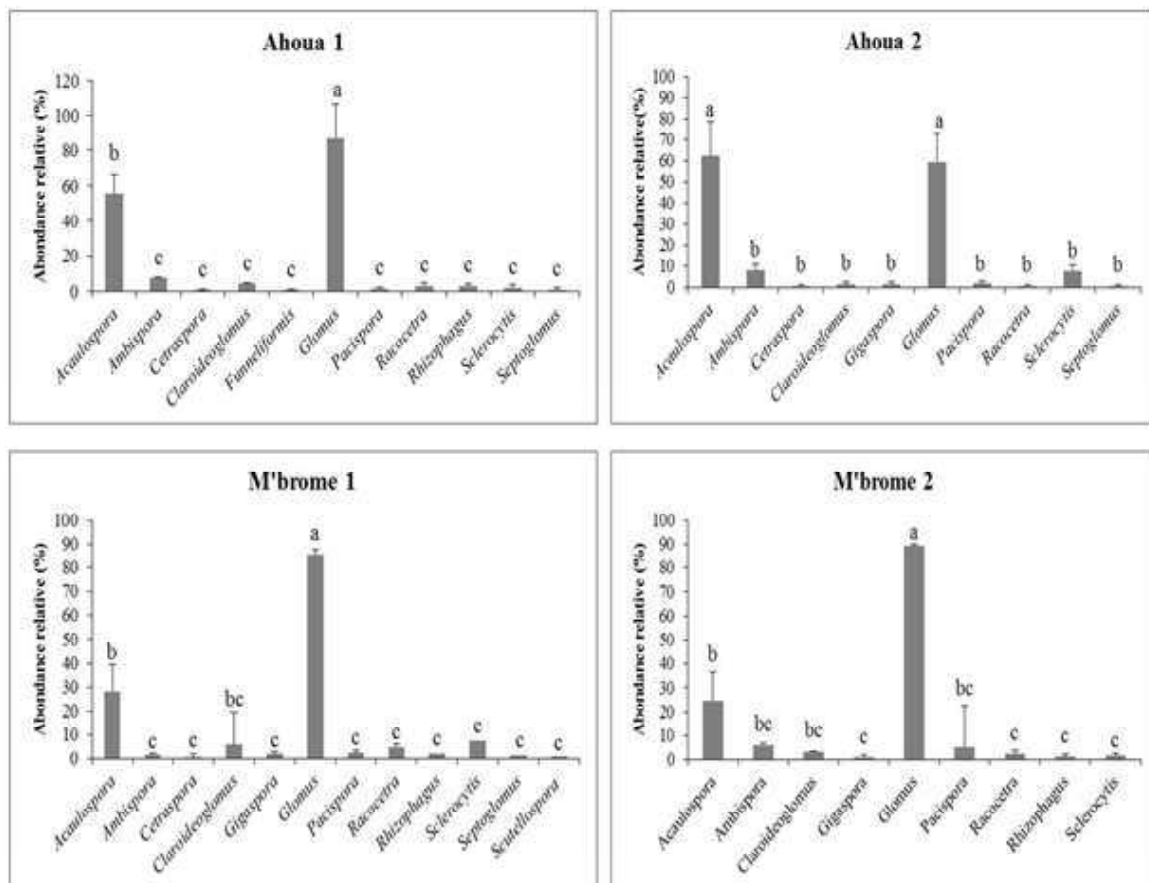


Figure 2 : Abondance relative des genres de CMA des sols des différents champs de manioc dans la zone agroécologique.

Relative abundance of genera at each site.

Les barres sont les moyennes de trois répétitions. Les valeurs de barres avec des lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5 % selon l'ANOVA de Kruskal-Wallis.

Tableau 3 : Diversité, et proportion des espèces de CMA dans les champs de manioc de la zone agroécologique d'Azaguié.*Diversity, species richness and AMF species proportion in cassava fields.*

Espèces	Ahoua 1	Ahoua 2	M'Brome 1	M'Brome 2	Fréquence
<i>Acaulospora denticulata</i>	0,42%				25%
<i>Acaulospora Lacunosa</i>	2,55%	0,23%	0,23%		75%
<i>Acaulospora laevis</i>	0,42%	0,23%	1,67%	0,52%	100%
<i>Acaulospora rehmi</i>	2,55%		1,67%	1,04%	75%
<i>Acaulospora scrobiculata</i>	0,42%	1,86%	2,15%	1,04%	100%
<i>Acaulospora tuberculata</i>			1,20		25%
<i>Acaulospora undulata</i>				0,52%	25%
<i>Acaulospora mellea</i>	11,04%	32,40%	7,00%	9,90%	100%
<i>Acaulospora sp2</i>	15,29%	7,69%	4,06%	4,95%	100%
<i>Acaulospora sp3</i>	0,42%		2,39		50%
<i>Acaulospora sp4</i>	0,21%	1,17%			50%
<i>Acaulospora sp6</i>	0,85%				25%
<i>Acaulospora sp7</i>	0,21%				25%
<i>Acaulospora sp8</i>	1,06%			1,30%	50%
<i>Ambispora reticulata</i>				0,52%	25%
<i>Ambispora sp. 1</i>	1,91%	2,80%	0,71%	1,56%	100%
<i>Ambispora sp. 2</i>	1,27%	1,17%	0,47%	1,56%	100%
<i>Ambispora sp. 3</i>	1,49%	1,63%		1,04%	75%
<i>Cetraspora pellucida</i>	0,21%				25%
<i>Cetraspora sp. 1</i>		0,47%	0,23%		50%
<i>Claroideoglopus etunicatum</i>	1,06%	0,93%	4,30%		75%
<i>Funneliformis mossae</i>	0,42%				25%
<i>Gigaspora alboaurantiaca</i>			0,47 %		25%
<i>Gigaspora gigantea</i>		0,70%	0,71%		50%
<i>Glomus aureum</i>	0,42%	4,43%	5,74%	2,86%	100%
<i>Glomus glomerulatum</i>	10,62%	4,43%	6,45%		75%
<i>Glomus badium</i>		11,89%		5,21%	75%
<i>Glomus clavisorum</i>		5,13%	6,93%		50%
<i>Glomus coremioides</i>			2,40%		25%
<i>Glomus rubiform</i>		2,80%	0,67%		50%
<i>Glomus verruculosum</i>	1,06%	1,17%			50%
<i>glomus sp. 1</i>			1,91%	8,59%	50%
<i>Glomus sp.4</i>	1,06%	3,50%	8,85%	16,41%	100%
<i>Glomus sp.5</i>	25,69%	8,16%	17,46%	21,35%	100%
<i>Glomus sp.6</i>	7,01%		5,02%	15,36%	75%
<i>Glomus sp.10</i>	4,67%				25%
<i>Glomus sp.11</i>	1,70%				25%
<i>Pascispora sp. 1</i>	0,85%	1,17%	1,19%	3,91%	100%
<i>Rhizophagus fasciculatus</i>	0,42%				25%
<i>Rhizophagus clarum</i>	1,49%		1,43%		50%
<i>Racocetra africana</i>	1,27%	0,47%	3,58%	1,82%	100%
<i>Sclerocystis sinuosum</i>	1,27%	5,13%	3,58%		75%
<i>Scutelospora sp. 1</i>			0,48%	0,52%	50%
<i>Septoglopus constrictum</i>	0,64%	0,47%	0,95%		75%
Richesse spécifique	32	24	29	20	
Indice de Shannon	3,72	3,53	4,22	3,45	
Indice de Piélou	0,74	0,76	0,97	0,78	

ABONDANCE ET VIABILITE DES SPORES CMA

Les densités de spores de CMA des sols issus des champs de manioc varient de 8,42 à 14,69 spores.g⁻¹ (Figure 3). Il n'existe pas de différence significative au seuil de 5 % entre les densités des spores de CMA des sols des quatre champs. Cependant, les densités des spores de CMA après inoculation des plants de niébé (*Vigna unguiculata*) avec les sols issus des champs de manioc en serre, sont comprises entre 19,93 et 25,74 spores.g⁻¹. L'inoculation a permis d'augmenter les densités de spores du

sol à Mbromé 2 et de doubler les densités de spores des sols à Ahoua 2, Mbromé 1.

Au niveau des sols à Ahoua 1 et Mbromé 2, les proportions des spores viables sont respectivement de 48 et 52 %. Il n'existe pas de différences significatives au seuil de 5 % entre les proportions de spores non-viables et celles des spores viables pour les sols à Ahoua 1 et Mbromé 2. Au niveau des sols à Ahoua 2 et Mbromé 1, les proportions de spores viables sont respectivement de 41 et 36 %. Au niveau des sols à Ahoua 2 et Mbromé 1, les proportions des spores non-viables sont supérieures à celles des spores viables (Figure 4).

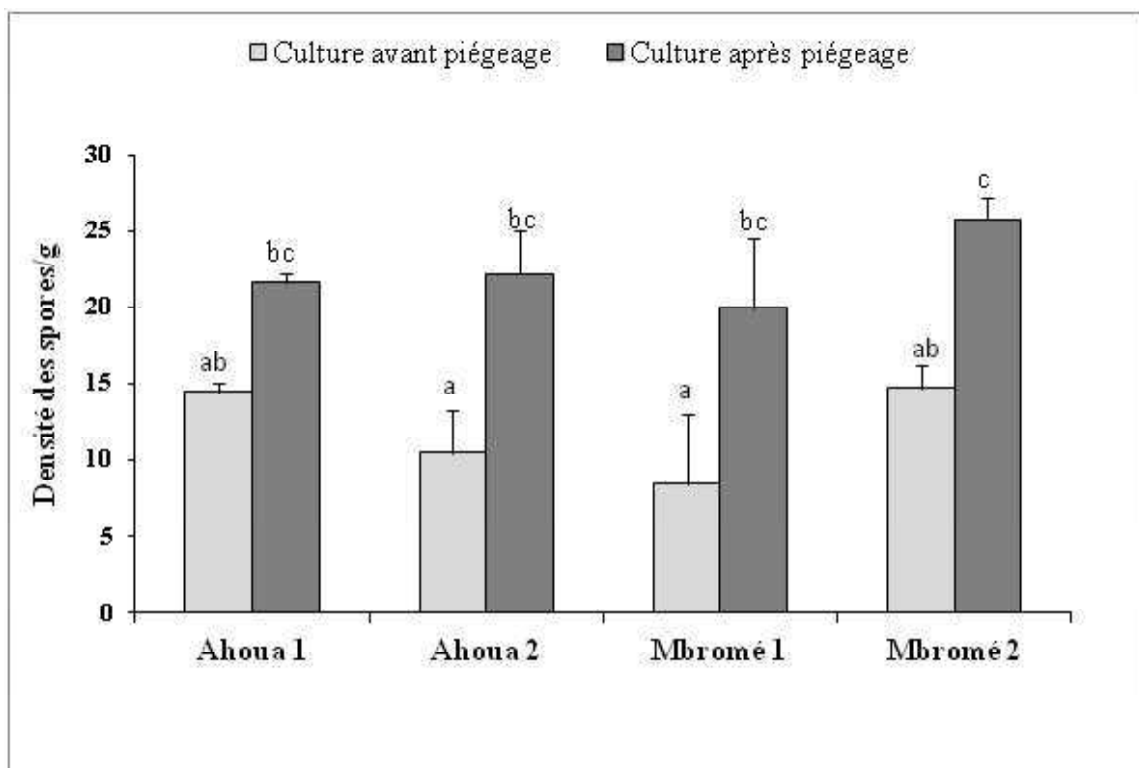


Figure 3 : Densités des spores de CMA des sols des champs de manioc de la zone agroécologique d'Azaguié avant et après piégeage.

Density of healthy spores in different cropping fields and after trap culture

Les barres sont les moyennes de trois répétitions. Les valeurs de barres avec des lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5 % selon l'ANOVA de Kruskal-Wallis.

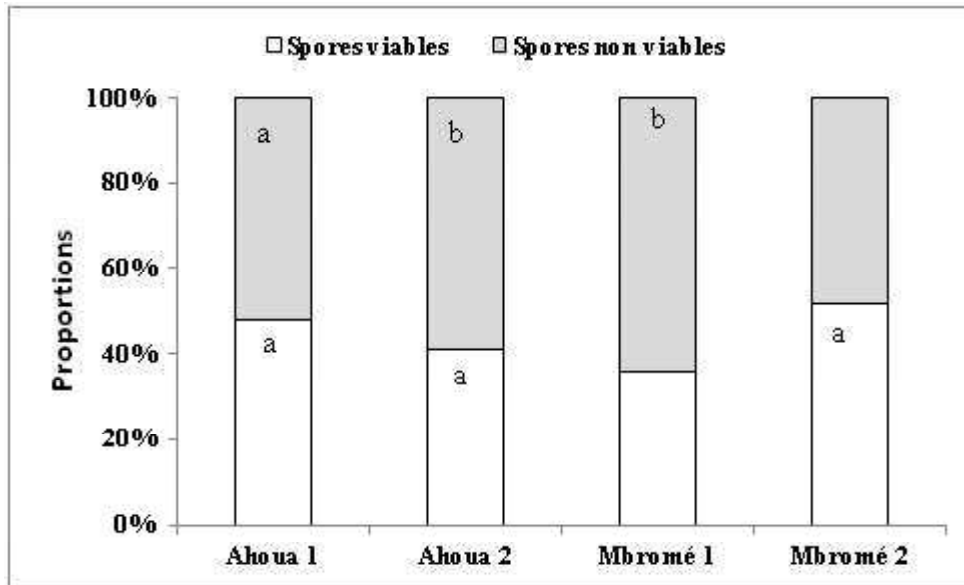


Figure 4 : Proportions des spores de CMA viables et non viables des sols en culture manioc dans la zone agroécologique d'Azaguié.

Proportion of healthy and non-healthy in different soils from cassava cropping fields.

Les barres sont les moyennes de trois répétitions. Les valeurs de barres avec des lettres différentes sont significativement différentes au seul de 5 % selon l'ANOVA de Kruskal-Wallis.

IMPACT DES PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES DES SOLS SUR L'ABONDANCE ET LA STRUCTURE DES COMMUNAUTES DE CMA DES CHAMPS DE MANIOC

La figure 5 présente la corrélation entre la densité des spores de CMA et les propriétés physicochimiques des échantillons. La contribution de l'axe 1 est de 42,02 % et celle de l'axe 2 est 18,85 %. Les variables telles que limon grossier (Lg), magnésium (Mg^{2+}), argile (A) et la variable densité spores viables sont bien représentées dans le cercle de corrélation avec des coordonnées positives sur l'axe 1 dont elles se rapprochent le plus. La variable sable fin (Sf) est également bien représentée dans le cercle de corrélation mais avec des coordonnées

négatives sur l'axe 1 dont elle se rapproche le plus. Des corrélations de Spearman-R (Tableau 4) ont permis d'obtenir une corrélation positive entre la densité des spores viables et des paramètres du sol (argile, $R = 0,74$, magnésium, $R = 0,65$), des corrélations positives entre le genre *Acaulospora* et chacun des paramètres magnésium ($R = 0,59$) et limon grossier ($R = 0,79$). Des corrélations positives ont également été observées entre le genre *Rhizophagus* et le magnésium ($R = 0,59$) et entre le genre *Claroideoglossum* et la CEC ($R = 0,69$). Par contre, une corrélation négative a été observée entre la densité des spores viables et la proportion en sable fin ($R = -0,60$) et une corrélation négative entre le genre *Septoglossum* et la proportion en sable grossier ($R = -0,59$).

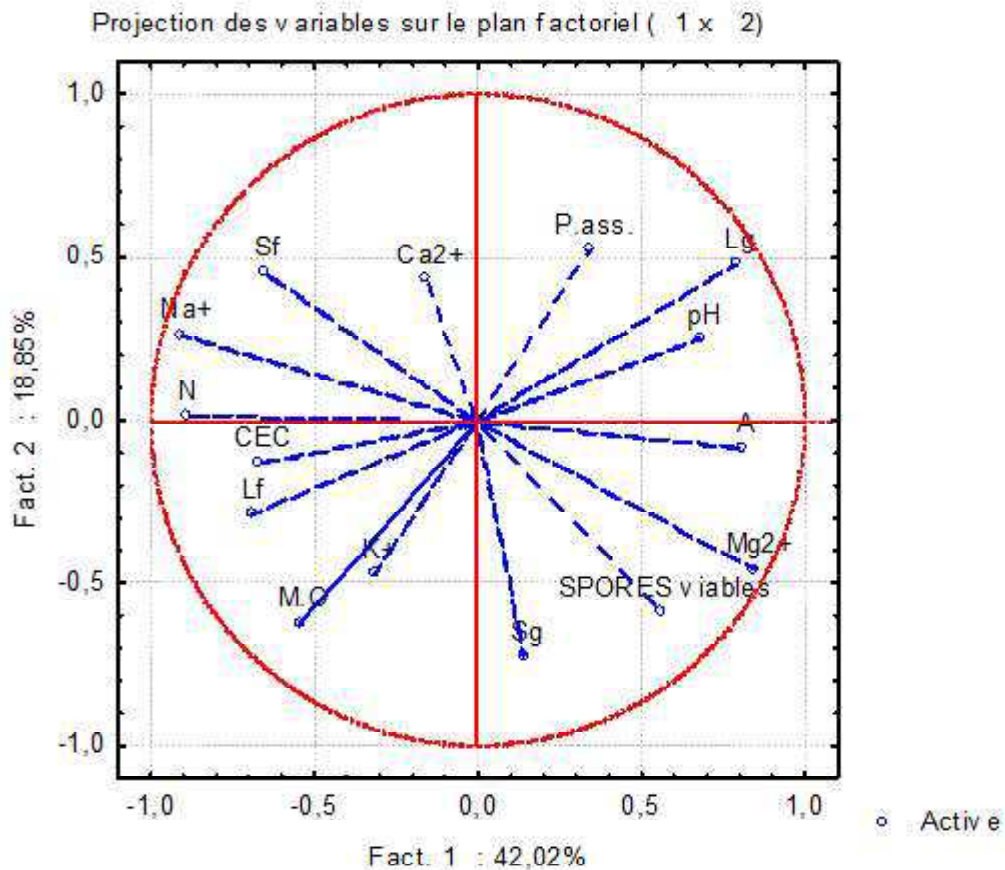


Figure 5 : Analyse en composantes principales de la densité des spores viables et des paramètres physico-chimiques des sols respectifs des champs de manioc dans la zone agroécologique d'Azaguié.

Relationship between soil physico-chemical characteristics and spores densities by Principal Component Analyses.

A : argile, Lf : limon fin, Lg : Limon grossier, Sf : sable fin, Sg : sable grossier.

Tableau 4 : Corrélations de Spearman-R entre l'abondance relative des genres de CMA, les densités de spores viables et les paramètres physicochimiques des sols de champs manioc de la zone agroécologique d'Azaguié.

Spearman-R correlations between physicochemical parameters and density of viable spores and genera of AMF.

	CEC (cmol/kg^{-1})	Mg^{2+} (cmol/kg^{-1})	Lg%	Sg%
<i>Acaulospora</i>	-0,49	0,59	0,79	-0,16
<i>Niv p</i>		0,04	0,002	
<i>Claroideoglossus</i>	0,69	-0,04	-0,2	0,21
<i>Niv p</i>	0,013			
<i>Rhizophagus</i>	-0,05	0,59	-0,14	0,2
<i>Niv p</i>		0,04		
<i>Septoglossus</i>	0,19	-0,16	0,16	-0,59
<i>Niv p</i>				0,044
	Argile	Sable fin		Mg^{2+}
Densité des spores	0,74	-0,60		0,65
<i>Niv p</i>	0,005	0,035		0,021

DISCUSSION

Dans la zone agroécologique d'Azaguié, sur les sols, il est cultivé plusieurs variétés de manioc (Yacé, Dankoi, Bonoua, Akaman). Aussi, les champs de manioc sont-ils précédés par d'autres champs de manioc ou par des jachères de courtes durées (2 à 4 ans). La pratique quasi permanente de la culture de manioc sur ces sols a un impact négatif sur leur fertilité. Ainsi, les sols de culture de manioc offrent de mauvaises conditions pour l'agriculture. En effet, les sols des champs à Ahoua 2, Mbromé 1 et Mbromé 2, présentent une acidité extrême. Les rapports C/N faibles pour tous les champs traduisent une rapide décomposition de la matière organique. Ce qui a pour conséquence un mauvais fonctionnement du complexe argilo-humique. Evidemment, l'étude chimique a prouvé que ces sols présentent également en général, un déficit en matière organique. On note aussi une faible fertilité. En effet, les capacités d'échange cationique des sols sont généralement faibles de même que les teneurs en phosphore. Ces résultats sont conformes à la description de la qualité chimique des sols d'Azaguié faite par Perraud (Perraud, 1971). La mauvaise qualité des sols de culture de manioc dans la zone agroécologique d'Azaguié oblige les paysans à y pratiquer que la seule culture du manioc. Ces conditions de culture de manioc auraient une influence sur la dynamique et l'activité des communautés de CMA. Par exemple l'étude a révélé que les sols de culture de manioc à Azaguié contenaient des proportions élevées de spores non-viables. En effet, les champs de manioc sont installés sur des sols plusieurs fois utilisés pour d'autres cultures auparavant or l'activité humaine sur les terres, inhibe le cycle de développement des CMA (Brito, 2012). L'acidité extrême des sols pourrait être aussi à l'origine des proportions particulièrement élevées en spores non viables. Ainsi les densités de spores viables sur ces sols sont moyennes et ont pu être améliorées par les conditions proposées par la technique du piégeage. L'étude a mis en évidence que les sols de culture de manioc à Azaguié contenaient une diversité importante de CMA (13 genres repartis en 44 espèces). Mais les conditions de culture de manioc favoriseraient l'établissement des genres *Glomus* et *Acaulospora* et aussi l'adaptation au profit des espèces comme *Glomus* sp. 5 et *Acaulospora mellea* qui seraient plus compétitives que les autres espèces vis-à-vis

du manioc. Il est démontré que le genre *Glomus* est le plus abondant dans les champs de manioc (Sieverding, 1989). La prédominance des genres *Glomus*, *Acaulospora* en zone tropicale serait due à une adaptation de ces genres de CMA aux conditions tropicales mais également au fait que leurs cycles de développement ne seraient pas aussi affectés par les répétitions des cultures sur les terres que ceux des genres minoritaires (*Gigaspora*, *Scutellospora* et *Pascispora*) (Oehl et al., 2003). Les genres *Glomus* et *Acaulospora* se propageraient beaucoup plus par les spores qui sont des formes de résistance des CMA aux conditions difficiles tandis que les genres *Gigaspora*, *Scutellospora* et *Pascispora* se propageraient davantage avec d'autres types de propagules tels les hyphes, les fragments mycéliens extraracinaires (Brito et al., 2012). Les genres *Glomus* et *Acaulospora* seraient bien désignés pour la réalisation d'inocula dans les conditions de culture du manioc dans la zone agroécologique d'Azaguié et les espèces *Glomus* sp. 5 et *Acaulospora mellea* pourraient être les mieux indiquées car elles sont abondantes sur des sols qui ont abrité de façon successive et exclusive plusieurs cycles de monoculture de manioc. Par ailleurs, il a été noté entre les champs de Ahoua 1, Ahoua 2 et Mbromé 1, une différence des richesses spécifiques et de la répartition des individus alors que les variétés cultivées sur ces champs sont les mêmes. Cette différence serait due aux propriétés physicochimiques différentes de ces champs. Aussi l'étude des corrélations a montré l'impact de certains paramètres physicochimiques sur les communautés de CMA. Ainsi, il a été noté des corrélations positives entre les communautés de CMA et le magnésium et l'argile et le limon grossier par contre des corrélations négatives ont été obtenues avec le sable fin et le sable grossier.

CONCLUSION

Dans cette étude, l'objectif était est de mettre en évidence l'écologie, la diversité et la structuration des communautés de CMA endogènes associés à la culture du manioc dans les sols de la zone agroécologique d'Azaguié. Dans ces sols, il a été dénombré 13 genres de CMA repartis en 44 espèces. L'analyse des propriétés physico-chimiques des sols a révélé que les sols des champs de manioc de la zone d'Azaguié sont de qualités médiocres pour

l'agriculture en général. L'acidité extrême, les teneurs élevées en sable impactent négativement sur la viabilité et la densité des spores. Aussi ces conditions ont concouru à l'établissement des genres *Glomus* et *Acaulospora* et à l'adaptation des espèces *Glomus sp.5* et *Acaulospora mellea*. Par ailleurs vu les densités élevées de spores non-viables dans le milieu naturel à Azaguié, l'outil biotechnologique pourrait intervenir en confectionnant des inocula à partir des meilleures souches de CMA afin d'aider à la reconstitution de la microflore symbiotique et aider ainsi à la restauration de la fertilité des sols.

REFERENCES

- Anderson J. M. and J. S. I. Ingram. 1993. Tropical soil biology and fertility. A handbook of methods. CAB International, 221 p.
- Baize D. 2000. Guide des analyses en pédologie. INRA Editions, 257 p.
- Blaszkowski J. 2013. www.zor.zut.edu.pl/Glomeromycota/index
- Bremner J. M. 1960. Determination of nitrogen in soil by the Kjeldahl method. *Journal of Agricultural Sciences*, 55, 1 - 33.
- Brito I., Goss M. J., de Carvalho M., Chatagnier O. et D. van Tuinen. 2012. Impact of tillage system on arbuscular mycorrhiza fungal communities in the soil under Mediterranean conditions. *Soil and Tillage Research*, 121, 63 - 67.
- Calvet G. et P. Villemin. 1986. Interprétation des analyses de terre. France, SCPA. 24 p.
- Camille C. 1984. Les cultures vivrières en République de Côte-d'Ivoire *In : Annales de Géographie*. t. 93, 518, 432 - 453.
- Chaleard J.-L. 1988. Le manioc, la ville et le paysan. Approvisionnement urbain et mutations rurales dans la région de Bouaké (Côte d'Ivoire). *Cahier Sciences Humaines*. 24 (3) : 333 - 348.
- De Foresta H. and D. Schwartz. 1991. *Chromolaena odorata* and disturbance of natural succession after cultivation : an example from Mayombe, Congo, Central Africa. *In : Muniappan R. and P. Ferrar. (Eds.). Ecolog, management of Chromolaena odorata*. Biotropicalspecial publications 44, pp. 23 - 4.
- Dostie B., Randriamamonjy J. et L. Rabenasolo. 1999. La filière manioc : Amortisseur oublié des vulnérables. <http://www.instat.mg/pdf>
- iloinstat. Téléchargé en 2013. Duprarque A. et P. Rigalle. 2011. Composition des MO et turn over ; Rôles et fonctions des MO, actes du colloque «Gestion de l'état organique des sols», 27 janvier 2011, Agrotransfert.
- FAO-STAT. 2013. Agricultural database-Agricultural Production. Consulté le 28 janvier 2013, sur <http://www.fao.org>.
- Gerdemann J. W. et T. H. Nicolson. 1963. Spores of endogone species from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society*, 46, 235 - 244.
- Gulick P., Hershley C. et J. Esquinas-Alcazar. 1983. Genetic resources of cassava and wild relatives. Rome, Italie, IBPGR Series n°82/111, 56 p.
- Howeler R. H. 1985. Mineral nutrition and fertilization of cassava. *In : Cassava : Research. Production and Utilization*. UNDP· CIAT Cassava Program. Cali, Colombia. 249 - 320 p.
- Huang S. P. et J. E. Cares. 2004. Nématodes. *In* Anonyme. Echantillonnage (Méthodes), Restitution du séminaire de Embu 23 au 27 février 2004, Kenya, Doc. 4/CSM-BGBD CI, 7 p. INRA. 1995 : Référentiel pédologique. Association Française d'étude des sols. INRA, 332 p.
- INVAM. 2013. <http://www.invam.caf.wvu.edu>.
- Jakobsen I., Abbott L. K. et A. D. Robson. 1992. External hyphae of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Trifolium subterraneum* L. 1. Spread of hyphae and phosphorus inflow into roots. *New Phytologist*, 120, 371 - 380.
- Kouadio K. K. H., Dao D., Tschannen A. et O. Girardin. 2010. Rentabilité comparative des systèmes de culture à base de manioc à l'Est de la Côte d'Ivoire. *Journal of Animal and Plant Sciences*. 9(1), 1094 - 1103.
- Kouakou N. I. 1990. Le manioc, programme de vulgarisation de nouvelles variétés. Compagnie ivoirienne pour le développement des cultures vivrières (Eds.). Côte d'Ivoire. 135 p.
- LCA. 2008. Guide pratique : comprendre et utiliser les analyses agro-environnementales.
- Mollard E. 1993. Le manioc dans les unités de production en basse Côte d'Ivoire. Rendements, pratiques et fonctions d'une culture vivrière. Thèse de Doctorat de l'institut national agronomique paris-grignon. p 215.
- Morton J. B., Bentivenga S. P. and W. W. Wheeler. 1993. Germ plasma in the International Collection of Arbuscular and Vesicular

- Arbuscular Mycorrhizal Fungi (INVAM) and procedures for culture development, documentation and storage. *Mycotaxon* 48, 491 - 528.
- Ndabalishye I. 1995. Agriculture vivrière ouest-africaine à travers le cas de la Côte d'Ivoire. IDESSA (Edition), Côte d'Ivoire. 382 p.
- Oehl F., Sieverding E., Ineichen K., Mader P., Boller T. et A. Wiemken. 2003. Impact of land use intensity on the species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in agroecosystems of central Europe. *Applied Environmental Microbiology*. 69 : 2816 - 2824.
- Olsen S. R. 1952. Measurement of phosphore on hydroxylapatite and phosphate rock with radiophosphorus. *The Journal of Physical Chemistry*, 56, 630 - 632.
- Pansu M. et J. Gautheyrou. 2003. L'analyse du sol minéralogique, organique et minérale. Montpellier, France : Springer-Verlag. 993 p.
- Perraud A. 1971. Les sols. *In* : le milieu naturel de la Côte d'Ivoire. Mémoire ORSTOM, n°50. pp 269 - 391. Raffailac J. P. et G. Nepelec. 1984. Fertilisation du manioc (*Manihot esculenta* Crantz, var Bonoua) en basse Côte d'Ivoire Etude de cas. Séminaire Imphos. ORSTOM Fonds Documentaire. N° 22867 ex 1. Cote
- Schaffer R. 1975. La matière organique du sol premier séminaire sur la croissance des sols du Maghreb, Institut National Agronomique El Harach. (Alger). Avril 1975.
- Schenck N. C. and Y. Perez. 1990. Manual for the identification of VA mycorrhizal Fungi (Eds.). Synergistic Publ., Gainesville Florida, pp 286.
- Shukla A., Kumar A., JHA A., Chaturvedi O. P., Prasad R. and A. Gupta. 2009. Effects of shade on arbuscular mycorrhizal colonization and growth of crops and tree seedlings in Central India. *Agroforestry System*, 76, 95 - 109.
- Sieverding E. 1989. Ecology of VAM fungi in tropical agrosystems. *Agriculture, Ecosystems, and Environment* 29, 369 - 390.
- Silvestre P. et M. Arreaudeau. 1983. Le manioc, Agence de Coopération Culture et Technique, Paris, 260 p.
- Soil Survey Staff. 1998. Keys to Soil Taxonomy. United States Department of Agriculture.
- Ugwu B. O. et U. J. Ukpai. 2002. Potential of Cassava Flour Processing to Sustain Increasing Cassava Production in Nigeria. *Outlook on Nigeria Agriculture*, 31 (2) : 129 - 133.
- Walkley A. et I. A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sciences*. 37, 29 - 38.
- Waples R. S. et O. Gaggiotti. 2006. What is a population? An empirical evaluation of some genetic methods for identifying the number of gene pools and their degree of connectivity. *Molecular Ecology*, 15, 1419 - 1439.
- Yaninek J. S. et F. Schulthess. 1993. Developing an environmentally sound plant protection for cassava in Africa. *Agriculture, Ecosystems, and Environment*, 46, 305 - 324.