



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

Diversité des Champignons Mycorhiziens à Arbuscule Associés aux Cacaoyers (*Theobroma cacao* L.) en Côte d'Ivoire

Yves Frédéric Cyriak Amani
Kacou Antoine Alban M'bo
Mamadou Cherif
Daouda Koné

Centre d'excellence africain sur les changements climatiques la biodiversité et l'agriculture durable (CEA-CCBAD), Université Félix Houphouët-Boigny (UFHB), Côte d'Ivoire

Christophe Kouamé

World Agroforestry Centre (CIFOR-ICRAF), Côte d'Ivoire

[Doi:10.19044/esj.2023.v19n27p179](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n27p179)

Submitted: 28 August 2023
Accepted: 28 September 2023
Published: 30 September 2023

Copyright 2023 Author(s)
Under Creative Commons CC-BY 4.0
OPEN ACCESS

Cite As:

Cyriak Amani Y.F., Alban M'bo K.A., Cherif M., Koné D. & Kouamé C.(2023). *Diversité des Champignons Mycorhiziens à Arbuscule Associés aux Cacaoyers (Theobroma cacao L.) en Côte d'Ivoire*. European Scientific Journal, ESJ, 19 (27), 179.

<https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n27p179>

Résumé

Les champignons mycorhiziens à arbuscule vivent en symbiose avec les racines des plantes aidant celles-ci à absorber les nutriments nécessaires à leur croissance et développement. En Côte d'Ivoire, cette symbiose n'est pas prise en compte dans les stratégies agroforestières à base de cacaoyer. Ce travail vise à étudier les mycorhizes associés aux cacaoyers dans les systèmes agroforestiers. Les spores et les racines de cacaoyer issus de 32 plantations de cacao localisées dans les 4 principales zones agro-écologiques de production du cacao en Côte d'Ivoire ont été analysées. La diversité, la densité des spores, les taux de mycorhization et la richesse spécifique des mycorhizes ont été déterminés. L'examen des spores met en évidence 72 morphotypes appartenant à 10 familles, 17 genres et 49 espèces de mycorhize. *Claroideoglomus etunicatum* est l'espèce dominante du verger cacaoyer. L'abondance des spores varie entre 10,53 à 31,24 spores.g⁻¹ de sol pour une

moyenne de 18,30 spores.g⁻¹ de sol. Le nombre des spores est statistiquement le même à l'échelle des zones agroécologiques. Les fréquences de mycorhization des cacaoyers sont généralement élevées et oscillent entre 89,31 % à l'Ouest du pays et 92,4 % au Sud-ouest. En revanche, les intensités de mycorhization sont inférieures à 25 % dans l'ensemble du verger cacaoyer. Ces résultats indiquent que les systèmes agroforestiers à cacaoyer en Côte d'Ivoire abritent une grande diversité de champignons mycorrhiziens à arbuscule qui pourrait être utilisée dans diverses initiatives biotechnologiques en agriculture durable.

Mots-clés: Mycorhize, *Claroideoglossum etunicatum*, *Theobroma cacao*, Côte d'Ivoire

Diversity of Arbuscular Mycorrhizal Fungi Associated with Cocoa (*Theobroma cacao* L.) in Côte d'Ivoire

Yves Frédéric Cyriak Amani

Kacou Antoine Alban M'bo

Mamadou Cherif

Daouda Koné

Centre d'excellence africain sur les changements climatiques la biodiversité et l'agriculture durable (CEA-CCBAD), Université Félix Houphouët-Boigny (UFHB), Côte d'Ivoire

Christophe Kouamé

World Agroforestry Centre (CIFOR-ICRAF), Côte d'Ivoire

Abstract

Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) live in symbiosis with plant roots, helping them to absorb the nutrients they need for growth and development. In Côte d'Ivoire, this symbiosis is not considered in cocoa-based agroforestry strategies. The aim of this work is to study the mycorrhizal fungi associated with cocoa trees in agroforestry systems. To this end, cocoa spores and roots from 32 cocoa plantations located in the 4 main agro-ecological zones for cocoa production in Côte d'Ivoire were analysed. The diversity, spore density, mycorrhization rates, species richness and Shannon-Wiener diversity indices of arbuscular mycorrhizal fungi communities were determined. A study of the specific richness and relative abundance of 3271 spores revealed 72 arbuscular mycorrhizal fungi morphotypes in the rhizosphere of cocoa trees in Côte d'Ivoire. On all the sites, 10 families, 17 genera and 49 species of arbuscular mycorrhizal fungi were recorded. *Claroideoglossum etunicatum* is the dominant species in the cocoa orchard. The

abundance of spores in the Ivorian cocoa orchard varied between 7,89 and 17,84 spores. g-1 of soil, with an average of 13,42 spores.g-1 of soil. The number of spores was statistically the same across the agroecological zones. Cocoa mycorrhization frequencies were generally high, ranging from 89,31% in the west of the orchard to 92,4% in the south-west. In contrast, mycorrhization intensities were below 25% throughout the cocoa orchard. These results indicate that cocoa agroforestry systems in Côte d'Ivoire harbour a wide diversity of AMF that could be used in various biotechnological initiatives in sustainable agriculture.

Keywords: Mycorrhiza, , Claroideoglomus etunicatum, Theobroma cacao, Côte d'Ivoire

Introduction

Les champignons mycorrhiziens à arbuscule (CMA) sont des microbiotes formant des symbioses mutualistes entre une plante et un champignon au niveau des racines. En agriculture, les plantes mycorrhizées ont un avantage important sur les plantes non mycorrhizées (Maherali et Klironomos, 2007). L'utilisation de CMA présente donc un potentiel biotechnologique et doit être prise en compte dans la conception des systèmes de production agricole. En effet, elle permet aux plantes de mieux s'adapter à leur environnement, notamment dans des écosystèmes présentant un déficit hydrique et/ou nutritionnel. Certaines espèces végétales ne peuvent croître normalement sans ce partenaire fongique (Gobat *et al.*, 2003).

En Côte d'Ivoire, le secteur agricole est largement dominé par la production du cacao qui représente le pilier de l'économie. Cependant, la satisfaction de la demande en cacao a entraîné la hausse des rendements par l'intensification des pratiques agricoles (monoculture, cultures sur brûlis, l'utilisation massive d'intrants de synthèse et en particulier de pesticides (Clough *et al.*, 2011 ; Phalan *et al.*, 2011). Cette situation a engendré une dégradation de la biodiversité, le vieillissement des vergers, la perte de fertilité des sols ainsi que divers changements d'ordre climatique telles que la baisse et l'irrégularité des pluies, le raccourcissement des saisons pluvieuses (Djè, 2014) qui sont de véritables contraintes à une production de cacao durable et efficace. Dans ce contexte agricole défavorable, les CMA offre un potentiel pour améliorer les conditions de production du cacao. En effet, ils peuvent constituer des substituts biologiques aux engrais minéraux (Thompson, 1991). Les biofertilisants basés sur les mycorrhizes sont une alternative pour réduire les pertes dans les processus de multiplication de plants. Ils permettent également d'améliorer l'acclimatation, la nutrition et la résistance aux contraintes biotiques et abiotiques (Azcón et Barea, 1997). Étant donné que les CMA colonisent environ 90 % des plantes vasculaires (Coyne, 2000) et

que les systèmes agroforestiers (SAF) cacao en Côte d'Ivoire ont été entretenus par les agriculteurs pendant des décennies, avec de faibles niveaux de perturbation, il est important de connaître la composition et le potentiel mycorhizien de ces écosystèmes. Cela permet de les conserver dans des banques de germoplasme ex situ ou de les utiliser dans de futurs travaux de recherche de restauration des sols. L'utilisation du potentiel mycorhizien peut ainsi contribuer à jeter les bases d'une agriculture saine en Côte d'Ivoire dans ce contexte environnemental en quête de durabilité. L'enjeu de ce travail, est donc d'exploiter la symbiose mycorhizienne des systèmes agroforestiers à base de cacao (SAFc) au profit de la cacaoculture. Dans ce contexte, l'objectif de cette recherche est de déterminer la diversité (espèces, genres et familles) des champignons mycorhiziens à arbuscule et leur abondance dans les vergers cacaoyers de Côte d'Ivoire.

Méthodes

Zone d'étude

Les plantations de cacao de 32 villages de la Côte d'Ivoire ont été échantillonnées. Ces plantations sont issues des 4 principales zones de production de cacao, situées d'Est à l'Ouest suivant le front pionnier de la cacaoculture (Figure 1). La première zone agroécologique (ZAE) est située à l'Est et est composée des départements d'Agnibilekro et d'Abengourou. Elle est caractérisée par un climat de type subéquatorial, chaud et humide, à faciès attiéen (Eldin, 1971). La température moyenne annuelle varie entre 24,6 °C et 28,4 °C. La moyenne des précipitations annuelles est comprise entre 1006 mm et 1068 mm. La seconde ZAE est au Centre-ouest et comprend les départements de Divo et de Lakota. La température dans cette zone varie entre 24,9 °C et 25,3 °C. Les précipitations annuelles moyennes sont de 1388 mm et 1457 mm. La troisième ZAE du Sud-ouest regroupe les départements de Soubré et de Méagui. Les températures moyennes annuelles oscillent entre 25 °C et 25,4 °C. Les précipitations annuelles moyennes sont comprises entre 1384 mm et 1563 mm. Enfin la quatrième ZAE se situe à l'Ouest et regroupe les départements de Duekoué et de Bangolo. La température moyenne est comprise entre 25,7 °C et 25,8 °C. La précipitation moyenne est de 1302 mm et 1320 mm. Les 3 dernières ZAE bénéficient d'un climat tropical. La superficie moyenne des vergers est de 2 à 5 ha (63,12 %). Les plantations ont été établies entre 1960 et 2018. Dans la ZAE

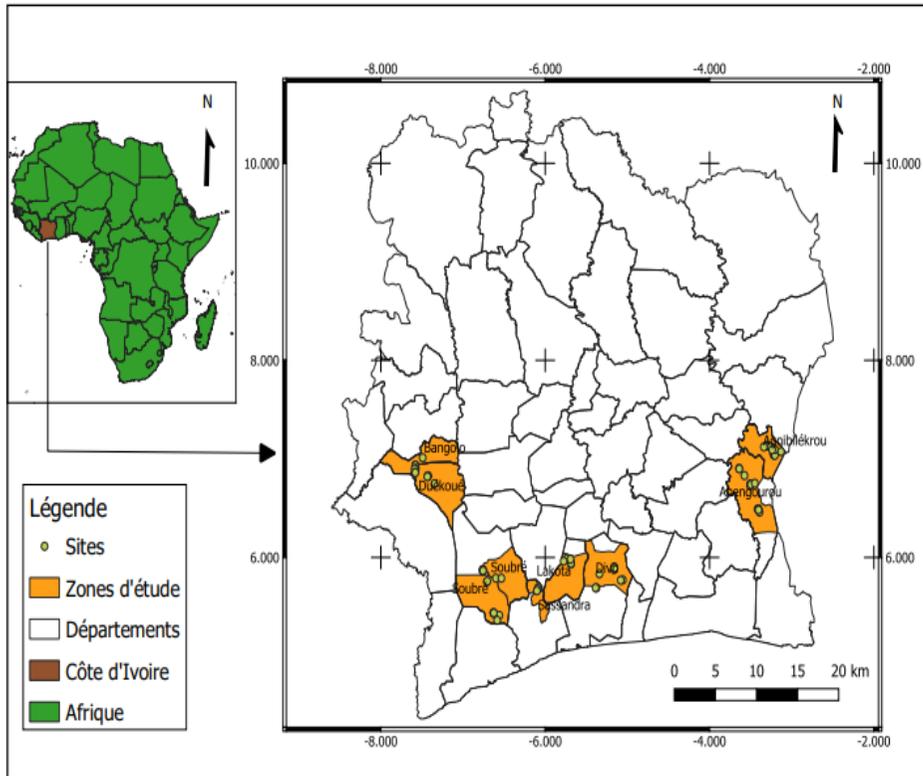


Figure 1. Localisation des sites sélectionnés pour l'étude

Est, Centre ouest, l'âge moyen des vergers est de 22 ans. Ils diffèrent statistiquement des vergers de Soubré qui ont un âge moyen de 31 ans (Amani *et al.*, 2020).

Collecte d'échantillons

Afin d'étudier les communautés de champignons mycorhiziens à arbuscule (CMA), trois échantillons composites du sol (Figure 2) de surface (0-20 cm) ont été prélevés en juillet et février 2020 au pied de cacaoyers choisis au hasard dans chaque plantation de la zone d'étude. Les échantillons de sol ont été conservés dans des sacs en plastique fermés à 4 °C jusqu'au traitement. (Brundrett *et al.*, 1996 ; Jefwa *et al.*, 2006). Dans chaque plantation étudiée, des racines fines inférieures à 3 mm de diamètre ont été également prélevées sur 3 à 5 individus (Bourmine, 2017 ; Dahiratou *et al.*, 2013) .

Analyse physicochimique du sol

Un sous-échantillon de chaque sol de plantation a été séché à l'air, tamisé (2 mm) et le pH a été mesuré dans l'eau (I:5) et dans le chlorure de potassium (KCl) (I:5). La matière organique a été évaluée en utilisant la méthode de Walkey-Black selon Jackson (1976) et l'azote total a été mesuré

par la méthode de Kjeldahl. Le P extractible a été évalué selon Olsen *et al.* (1952) en utilisant du bicarbonate de sodium. Dans cet extrait, le P a été mesuré par la méthode de Murphy et Riley (1962) et le Ca, K et Mg échangeables ont été mesurés par spectrophotométrie d'absorption atomique par spectrophotométrie d'absorption atomique dans le même extrait. Les données présentées sont les valeurs moyennes des trois échantillons de chaque département étudié.

Étude de la communauté de champignons mycorhiziens à arbuscule dans les sols

Les échantillons de sol ont été soigneusement homogénéisés et les spores de CMA isolées à partir de 50 g de sol par la méthode du tamisage humide Gerdemann et Nicolson (1963) et de la décantation suivie d'une centrifugation au saccharose (Sieverding, 1991). Les spores isolées ont été comptées et séparées à l'aide d'une loupe binoculaire (60 x). Par la suite, pour chaque échantillon, 100 spores ont été montées sur des lames en utilisant de l'alcool polyvinyl lactoglycérol (PVLG) et le réactif de Melzer, comme milieu de montage (Brundrett *et al.*, 1996) et observées au grossissement 100X, 400X et 1000X. Les CMA ont été identifiés à partir des clés d'identification disponibles dans la littérature scientifique relative (Schenck et Perez (1990), Morton et Benny (1990) ; Agere (2001) ; Becerra et Cabello (2008) ; INVAM (<http://invam.caf.wvu.edu>), la collection de Blaszkowski (www.agro.ar.szczecin.pl/~jblaszkowski/).

Culture piège et infection mycorhizienne

Pour être certain que des espèces fongiques particulières colonisent les racines de cacao, les racines de cacaoyer prélevées dans chaque plantation ont été découpées en fragment de 2 cm et mélangés aux sols mycorhizés prélevés au champ. Le mélange a été utilisé comme inoculum mycorhizien pour des graines pré-germées de Niébé. Ces graines ont été semées dans des pots contenant 500 g d'inoculum mycorhizien, 250 g de sol de même provenance mais stérilisé (3 fois à

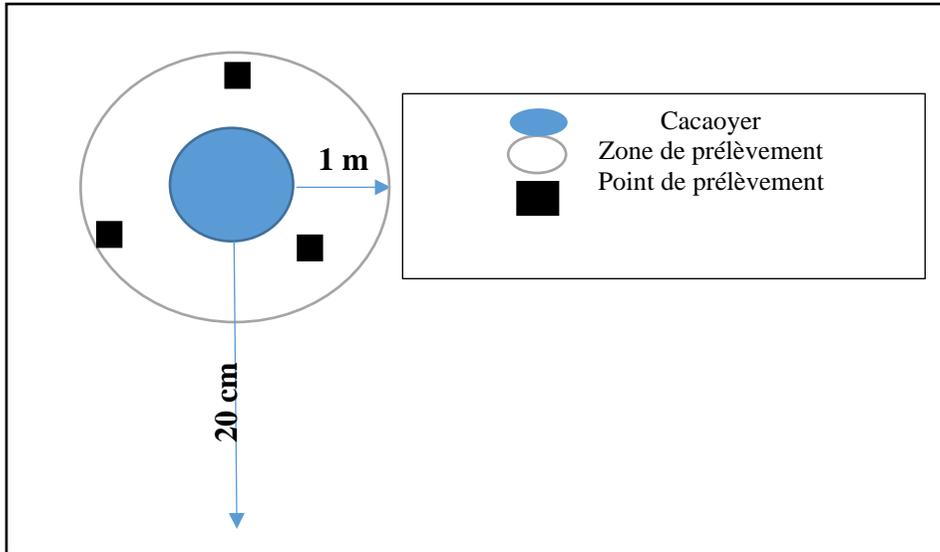


Figure 2. Schéma du dispositif de prélèvement des échantillons de sol et des racines

l'autoclave à 121 °C pendant 1h) et 250 g de sable de plage stérilisé utilisé comme substrat pauvre en éléments nutritifs. Un traitement sans inoculum mycorhizien a également été inclus et utilisé comme témoin. Après 70 jours de culture, le nombre de spore est déterminé et la présence des CMA dans les racines est mise en évidence par la méthode de coloration de Philips et Hayman (1970). Les taux de colonisation racinaire ont été évalués par la méthode de Trouvelot *et al.* (1986) à partir de 100 fragments de racine colorés.

Évaluation de la biodiversité

L'évaluation de la biodiversité a été réalisée à travers le calcul de l'indice de diversité prenant en compte à la fois la richesse, l'indice de diversité de Shannon-Wiener (H) (1948), l'équitabilité de Pielou (E) (Pielou, 1977), L'indice de Simpson (D) la dominance pour chaque site échantillonné ont été calculés selon les équations suivantes : $H' = - \sum (n_i / N) \times \ln (n_i / N)$; $E = H' / \ln S$; $D = 1 - \sum (N_i (N_i - 1)) / (N (N - 1))$.

Dans la formule, H' : désigne l'indice de diversité de Shannon et s'exprime en bit ; n_i : est le nombre d'individus d'une espèce i ; N : nombre total d'individus de toutes les espèces inventoriées ; E : l'équitabilité ; S : nombre total d'espèces recensées dans une localité ; D : l'indice de diversité de Simpson ; N_i : nombre d'individus d'une espèce i .

Analyse statistique

Les données de l'étude de la communauté de champignons mycorhiziens à arbuscule dans les sols, le nombre de spores, le taux de mycorhization, la biodiversité, ainsi que celles relatives aux variables physico-

chimiques des sols prélevés sous les essences cibles ont été soumises à une analyse de variance à un facteur (ANOVA 1). Dans le cas du rejet de l'hypothèse d'égalité des moyennes, leur comparaison a été faite avec l'aide du test de Newman-Keuls au seuil de 5 %.

Résultats

Paramètres physico chimiques du sol

Le pH (KCl, < 5) et le pH (eau, < 6) ne varient pas entre les localités (Tableau 1). La matière organique (MO) est (< 2 %) oscille entre 1,2 et 1,7 en fonction des départements. Le rapport C/N est plus élevé à Soubré (13). Les teneurs en azote (< 0,5), potassium (<0,5), calcium (< 5), magnésium (< 2) et la CEC (> 3%) varient également suivant les départements. Les teneurs en phosphore sont comprises entre 17,5 et 32,9 et sont corrélées à la fréquence et à l'intensité de mycorhization.

Structure taxonomique générale et communauté des CMA associés aux cacaoyers en Côte d'Ivoire

L'étude de la richesse spécifique et des abondances relatives réalisée sur 3271 spores de CMA a permis de mettre en évidence 72 morphotypes de CMA dans la rhizosphère des cacaoyers en Côte d'Ivoire. Sur l'ensemble des sites, 10 familles, 17 genres et 49 espèces de CMA ont été répertoriés (Figure 3 ; Tableau 2). La diversité générique est plus élevée dans la ZAE Est avec 17 genres, 10 familles et 48 espèces, mais ne varie pas selon la ZAE. Les genres *Glomus* et *Acaulospora* sont les plus diversifiés et renferment respectivement 14,08 %, 12,67% des espèces observées. Dans toutes les zones agroécologiques, *Claroideoglomus etunicatum*, observées à 31,35 %, est l'espèce dominante dans la rhizosphère des cacaoyers. Outre cette espèce, 27 autres associées aux cacaoyers .

Tableau 1 : Paramètres physicochimiques du sol des cacaoyers

| ZAE | LOCALITES | pH (KCl) | pH (eau) | MO | C/N | N | P | K | Ca | Mg | C.E.C | Argile | Limon % | Sable |
|--------|-------------|----------|----------|-------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|---------|---------|
| EST | ABENGOUROU | 4,6 a | 5,7 a | 1,7 b | 10,7 ab | 0,17 ab | 17,5 a | 0,1 b | 1,7 ab | 1,5 b | 2 a | 42,4 a | 17,9 b | 39,7 a |
| | AGNIBILEKRO | 4,4 a | 5,3 a | 1,2 a | 11,3 ab | 0,1 a | 18,1 a | 0,1 b | 1,5 ab | 0,6 a | 1 a | 42,6 a | 17,0 ab | 40,4 a |
| CENTRE | DIVO | 4,6 a | 5,6 a | 1,2 a | 9,3 a | 0,11 a | 32,9 c | 0,1 b | 1 a | 0,5 a | 1 a | 36,8 b | 14,5a | 48,7 c |
| OUEST | LAKOTA | 5 a | 5,7 a | 1,6 b | 9,7 a | 0,15 a | 31,3 c | 0,2 b | 3,1 c | 1,35 b | 3,5 b | 38,7 b | 16,4 ab | 44,8 ab |
| SUD | SOUBRE | 4,5 a | 5,4 a | 1,2 a | 13,0 c | 0,1 a | 27,9 b | 0,2 b | 1,1 a | 0,5 a | 1,5 a | 39,4 b | 17,0 b | 43,6 ab |
| OUEST | MEAGUI | 4,4 a | 5 a | 1,5 b | 10,2 ab | 0,08 c | 27,3 b | 0,4 c | 2,3 b | 0,1 a | 2 a | 36,8 b | 17,9 b | 39,4 a |
| OUEST | BANGOLO | 4,5 a | 5,5 a | 1,7 b | 10,3 ab | 0,18 ab | 27,3 b | 0,3 bc | 2,1 b | 1,9 b | 4 b | 36,4 b | 16,6 ab | 47 c |
| | DIAQUIN | 4,7 a | 5,7 a | 1,5 b | 10,4 ab | 0,2 b | 28,0 b | 0,4 c | 3,1 c | 1,5 b | 3,7 b | 42,0 a | 17,3 b | 40,7 a |

Dans les colonnes des tableaux ci-dessus, les valeurs moyennes affectées de lettres identiques ne sont pas différentes au seuil de 5 %. Celles affectées de lettres différentes, sont différentes.

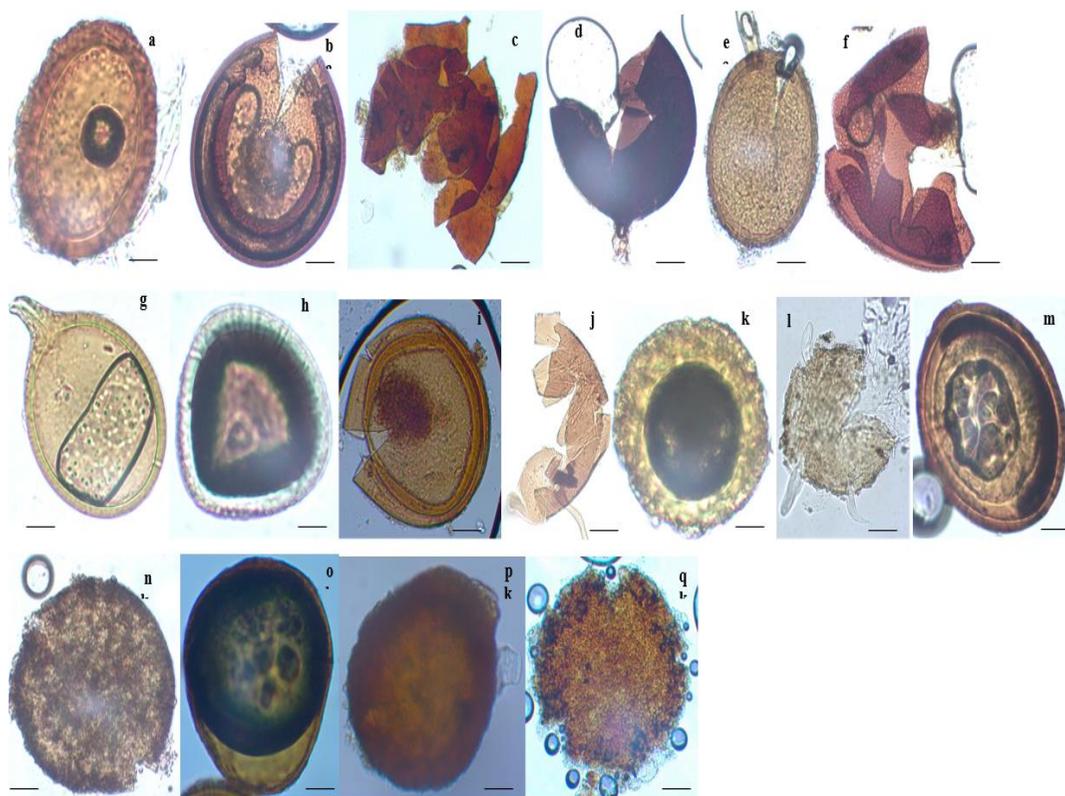


Figure 3. Principales espèces de CMA associées aux cacaoyers en Côte d'Ivoire, (a) *Rhizophagus fasciculatus*, (b) *Glomus fecondisporum*, (c) *Dentiscutata erythropha*, (d) *Glomus constrictum*, (e) *Claroideoglomus etunicatum*, (f) *Acaulospora scrobiculata*, (g) *Septoglomus rubiform*, (h) *Sacculospora baltica*, (i) *Acaulospora tuberculata*, (j) *Gigaspora Type 76 sp*, (k) *Dentiscutata erythropha*, (l) *Glomus viscosum*, (m) *Acaulospora delicata*, (n) *Acaulospora delicata*, (o) type 19, (p) Type 21, (q) type 50 ; la barre = 50 µm.

Tableau 2. Structure taxonomique de l'ensemble des genres de champignons mycorhiziens à arbuscule associés aux cacaoyers en Côte d'Ivoire

| ORDRE | FAMILLE | GENRES | ESPÈCES TOTALES |
|-----------------|----------------------|------------------------|-----------------|
| Glomerales | Glomeraceae | <i>Glomus</i> | 11 |
| | | <i>Funneliformis</i> | 2 |
| | | <i>Sclerocystis</i> | 2 |
| | | <i>Rhizophagus</i> | 2 |
| | | <i>Septoglomus</i> | 3 |
| Diversisporales | Diversisporaceae | <i>Corymbiglomus</i> | 1 |
| | | <i>Tricispora</i> | 1 |
| | Claroideoglomeraceae | <i>Claroideoglomus</i> | 1 |
| | Gigasporaceae | <i>Gigaspora</i> | 4 |

| | | | |
|-----------------|------------------|---------------|-----------|
| | | Scutellospora | 6 |
| | | Dentiscutata | 1 |
| | Acaulosporaceae | Acaulospora | 9 |
| | Pacisporaceae | Pacispora | 1 |
| | Sacculosporaceae | Sacculospora | 1 |
| Paraglomerales | Paraglomeraceae | Paraglomus | 1 |
| Archaeosporales | Archaeosporaceae | Archaeospora | 2 |
| | Ambisporaceae | Ambispora | 1 |
| TOTAL 4 | 10 | 17 | 49 |

sont présentes à la fois dans chacune des ZAE. Seize espèces ont été rencontrées à la fois dans toutes les localités. Parmi ces espèces, 4 sont les plus fréquentes. Il s'agit de *Acaulospora scrobiculata* (3,22 %), *Rizophagus fasciculatus* (3,25 %), *Tricispora nevadensis* (3,10 %) et *Inconnu sp. 2* (3,88 %) (Tableau 3). *Claroideogломus etunicatum* (29,85 %) est la seule espèce dominante dans le verger. Suivant les ZAE, 10 espèces sont endémiques à Abengourou et 13 à Agnibilekro. Les espèces *Claroideogломus etunicatum* et *Acaulospora delicata* ont été observées sur tous les sites avec une fréquence de 21,92 %. Sept autres espèces sont classées parmi les plus fréquentes. Il s'agit de *Rhizophagus fasciculatus* (7,63 %), *Sclerocystis rubiformis* (5,19 %), *Acaulospora delicata* (4,30 %), *Tricispora nevadensis* (4,18 %), *Inconnu sp. 2* (4,07 %), *Inconnu sp. 50* (3,81 %) et *Archeospora undulata* (3,42 %). Dans la ZAE du Centre-ouest, douze espèces sont endémiques à Lakota et 12 à Divo. Trois autres espèces sont classées parmi les plus fréquentes. Ce sont *Acaulospora scrobiculata* (5,01 %), et *Inconnu sp. 2* (3,87 %) et *Inconnu sp. 50* (3,49 %). Dans la ZAE du Sud-ouest 15 espèces sont endémiques à Soubré et 5 espèces à Méagui. Deux autres espèces sont classées parmi les plus fréquentes. Ce sont *Acaulospora tuberculata* (6,5 %) et *Inconnu sp. 21* (3,79 %). dans la zone agro écologique de l'Ouest 10 espèces sont endémiques à Duekoué et 9 espèces à Bangolo. Quatre autres espèces sont classées parmi les plus fréquentes. Ce sont *Inconnu sp. 2* (6,95 %), *Acaulospora bireticulata* (6,27 %), *Tricispora nevadensis* (5,38 %) et *Acaulospora scrobiculata* (3,10 %).

Abondance des spores dans le verger cacaoyer

L'abondance des spores dans le verger cacaoyer ivoirien a varié entre 10,53 à 31,24 spores.g⁻¹ de sol (Figure 4) pour une moyenne de 18,30 spores.g⁻¹ de sol. Le nombre des spores est statistiquement le même à l'échelle des ZAE (p=0,84). Par contre, à l'échelle des départements, des différences statistiques sont observées (p=0,05), notamment entre les départements de Diaouin (10,53 spores.g⁻¹ de sol) et celui de Bangolo (21,96 spores.g⁻¹ de sol) et Soubré (22,18 spores.g⁻¹ de sol). Le département de Soubré enregistre les proportions de spores viables les plus élevées (27,89 %), et celui de Lakota les plus faibles (7,36 %).

Taux de mycorhization racinaire des cacaoyers

L'observation microscopique de 2 300 fragments racinaires a permis de mettre en évidence la présence de champignons mycorhiziens à arbuscule dans le verger cacaoyer ivoirien. Cette mycorhization s'est matérialisée par la présence de vésicule, d'hyphe et de spores. L'analyse générale des taux de mycorhization caractérisé par les paramètres de fréquence et d'intensité de mycorhization ne présente aucune différence entre les ZAE ($p>0,05$). Les fréquences de mycorhization des cacaoyers sont généralement élevées et oscillent entre 89,31 % à l'Ouest du verger et 92,4 % au Sud-ouest. Par contre, les intensités de mycorhization sont inférieures à 25 % dans l'ensemble du verger cacaoyer (Tableau 4). La ZAE de l'Ouest enregistre la plus faible intensité de mycorhization ($M\%=16,29$; $m\%=17,07$) tandis que les plus élevés sont rencontrés dans la ZAE du Centre-ouest ($M\%=23,92$; $m\%=24,74$). La comparaison des taux de mycorhization à l'intérieur d'une même ZAE a mis en évidence des différences significatives ($p=0,01$) entre les variables d'intensité de mycorhization des départements de Soubré et de Méagui issus de la ZAE du Sud-ouest.

Tableau 3. Principales espèces de champignons mycorhiziens à arbuscule et leurs abondances relatives dans le verger cacaoyer de la Côte d'Ivoire

| Étiquettes de lignes | EST | | CENTRE-OUEST | | SUD-OUEST | | OUEST | | MOYENNE |
|-----------------------------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | ABENGOUROU | AGNIBILEKRO | LAKOTA | DIVO | MEAGUI | SOUBRE | DUEKOUÉ | BANGOLO | |
| <i>Acaulospora bireticulata</i> | 0,66 | - | 2,69 | 1,65 | 1,70 | 0,39 | 5,06 | 1,03 | 1,18 |
| <i>Acaulospora delicata</i> | 4,29 | 2,37 | 0,38 | 2,48 | 2,84 | 0,59 | 0,25 | 0,51 | 2,16 |
| <i>Acaulospora scrobiculata</i> | 0,99 | 2,96 | 4,62 | 4,96 | 2,84 | 3,52 | 3,80 | 2,05 | 3,31 |
| <i>Acaulospora tuberculata</i> | 1,32 | 3,25 | 1,15 | 1,65 | 2,84 | 7,03 | 2,03 | 0,51 | 2,88 |
| <i>Acaulospora TYPE 12</i> | - | 0,59 | 0,38 | 1,65 | 1,70 | 0,78 | 1,27 | 1,03 | 0,85 |
| <i>Ambispora fecundispora</i> | 1,98 | 0,89 | 2,31 | 0,83 | - | 1,95 | 0,76 | 1,54 | 1,33 |
| <i>Archaeospora myriocarpa</i> | 1,65 | 3,85 | 0,38 | 3,31 | 0,57 | 2,34 | 0,76 | 1,54 | 2,02 |
| <i>Claroideoglosum etunicatum</i> | 25,08 | 20,41 | 35,38 | 22,31 | 27,84 | 39,26 | 36,71 | 31,79 | 28,38 |
| <i>Corymbiglosum tortuosum</i> | 1,32 | 1,48 | 2,31 | - | 7,39 | 2,34 | 2,03 | 4,62 | 2,47 |
| <i>Dentiscutata erythropha</i> | 2,31 | 2,66 | 2,31 | 1,65 | 2,27 | 1,56 | 2,03 | 4,10 | 2,13 |
| <i>Funneliformis geosporum</i> | 2,31 | 2,07 | 3,08 | 0,83 | 3,98 | 2,15 | 0,51 | - | 2,40 |
| <i>Gigaspora type 76</i> | 1,32 | 1,78 | 0,77 | 1,65 | 0,57 | 1,17 | 1,01 | 1,54 | 1,21 |
| <i>Glomus hoi</i> | 1,65 | 1,18 | 3,85 | 1,65 | 1,14 | 1,76 | 1,52 | 2,05 | 1,87 |
| <i>Glomus sterilum</i> | 1,98 | 2,37 | 2,31 | 0,83 | - | 1,37 | 0,51 | 2,05 | 1,47 |
| <i>Glomus TYPE 21</i> | 0,99 | 2,37 | 2,69 | 3,31 | 5,68 | 3,52 | 2,53 | 0,51 | 3,09 |
| <i>Glomus TYPE 90</i> | 0,66 | 0,59 | 0,38 | - | 0,57 | 0,20 | - | 1,03 | 0,40 |
| <i>Rhizophagus intraradice</i> | 0,99 | 0,59 | 1,54 | 0,83 | 1,70 | 1,17 | 0,76 | 1,03 | 1,14 |

| | | | | | | | | | |
|---------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <i>Rhizophagus fasciculatus</i> | 8,58 | 2,96 | 1,54 | 2,48 | 2,27 | 2,54 | 3,04 | 2,56 | 3,39 |
| <i>Sacculospora baltica</i> | 2,31 | 1,48 | 1,92 | 2,48 | 3,98 | 1,17 | 0,51 | 0,51 | 2,22 |
| <i>Sclerocystis rubiformis</i> | 3,30 | 2,07 | 2,31 | 1,65 | 0,57 | 0,59 | 1,27 | 5,13 | 1,75 |
| <i>Septoglomus viscosum</i> | 0,33 | 2,37 | 1,15 | 4,13 | - | 0,78 | 0,25 | 1,54 | 1,46 |
| <i>Tricispora nevadensis</i> | 5,28 | 2,96 | 0,77 | - | 2,27 | 0,98 | 4,81 | 7,69 | 2,04 |
| TYPE 19 | 2,64 | 0,89 | 1,54 | 1,65 | 1,70 | 1,76 | 0,76 | 3,59 | 1,70 |
| TYPE 2 | 4,95 | 4,44 | 3,85 | 3,31 | 1,14 | 1,95 | 8,35 | 3,08 | 3,27 |
| TYPE 38 | 0,66 | 1,18 | 0,38 | - | 2,27 | 0,20 | 0,51 | 1,03 | 0,78 |
| TYPE 50 | 3,63 | 2,96 | 3,85 | 4,13 | 0,57 | 1,37 | 0,51 | 1,03 | 2,75 |

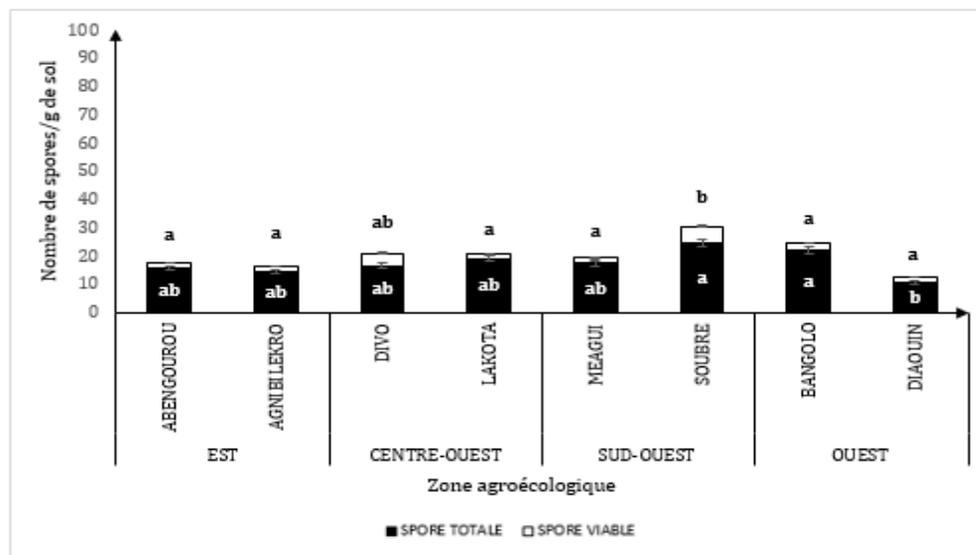


Figure 4. Densité et nombre de spores viables de mycorhize en fonction des ZAE

Les moyennes suivies d'une même lettre sont identiques au seuil de 5 %. Celles affectées de lettres différentes, sont différentes.

Tableau 4. Taux de mycorhization des cacaoyers en fonction des zones agroécologiques

| Zones agroécologiques | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------|-------------|-------------|--------------|------------|-----------|-----------|------------|-------|-----------|-----------|-------|
| paramètres d'évaluation du taux de mycorhization | Est | | | centre ouest | | | sud ouest | | | Ouest | total | p |
| | M% | 22,55 (a) | | | 23,92 (a) | | | 23,28 (a) | | | 16,29 (a) | 21,51 |
| m% | 23,93 (a) | | | 24,74 (a) | | | 24,50 (b) | | | 17,07 (a) | 22,56 | 0,12 |
| F% | 90,53 (a) | | | 91,66 (a) | | | 92,40 (a) | | | 89,31 (a) | 90,97 | 0,87 |
| Total | 45,67 | | | 46,77 | | | 46,73 | | | 40,89 | 45,02 | |
| LOCALITE | ABENGOUROU | AGNIBILEKRO | DIVO | LAKOTA | SOUBRE | MEAGUI | BANGOLO | DUEKOUE | TOTAL | p | | |
| M% | 23,90 (abc) | 22,05 (abc) | 21,63 (abc) | 26,20 (bc) | 19,70 (ab) | 32,22 (c) | 14,60 (a) | 18,74 (ab) | 22,38 | 0,12 | | |
| m% | 25,56 (abc) | 23,33 (abc) | 22,35 (abc) | 27,13 (bc) | 21,12 (ab) | 32,97 (c) | 15,45 (a) | 19,43 (ab) | 23,42 | 0,1 | | |
| F% | 94,00 (a) | 89,26 (a) | 88,74 (a) | 94,58 (a) | 90,60(a) | 96,89 (a) | 87,42 (a) | 92,05 (a) | 91,69 | 0,8 | | |

Dans les colonnes des tableaux ci-dessus, les valeurs moyennes affectées de lettres identiques ne sont pas différentes au seuil de 5%. Celles affectées de lettres différentes, sont différentes.

Diversité de champignons mycorhiziens à arbuscule

Les localités de Soubré et d'Agnibilekro ont repertorié le plus d'espèces de CMA, soit respectivement 50 et 52 espèces. Par contre, les localités de Divo, de Lakota, de Meagui et de Bangolo ont constitué un groupe homogène avec le moins d'espèces, soit respectivement 39, 40, 40 et 43 espèces (Figure 5). L'indice de Shannon est plus faible à Duekoué (2,78 bits) et le plus élevé à Agnibilekro (3,4 bits). L'indice de Pielou a oscillé entre 0,71 bits et 0,88 bits. Les valeurs les plus élevés sont rencontrées à Agnibilekro et à Divo (respectivement 0,86 et 0,88). Les indices les plus petites proviennent de Duekoué et de Soubré (respectivement 0,71 et 0,72). L'indice de Simpson se situe entre à 0,88 à Soubré et 0,94 à Agnibilekro.

Similarité des espèces de mycorhizes du cacaoyer dans les zones agroécologiques

La classification ascendante hiérarchique réalisée à partir d'un tableau de donnée composé des localités d'une part et des nombres de spores (viable et totale), des indices de biodiversité, des fréquences et intensités de mycorhization permet de former 3 grands groupes suivant la répartition des informations de mycorhization (Figure 6). Le premier est composé des départements de Bangolo, au sein duquel les CMA recensés ont produit le plus de spores (17,84 spore /g de sol). Le second groupe est subdivisé en 3 sous-classes. La première sous-classe caractérisé une corrélation entre les espèces de CMA et la production de spores viables ainsi que des indices de biodiversité élevés. Elle comprend les départements de Soubré regroupant les CMA produisant le plus de spores viables (5,53 spore/g de sol), et les départements de Agnibilékro et de Divo qui ont les indices de biodiversité les plus important). La deuxième sous-classe est composée des départements de Lakota et de Abengourou regroupant les CMA induisant de fortes fréquences et intensités de mycorhization. La troisième sous-classe est composée du département de Duekoué dont les espèces de CMA ont un effet intermédiaire entre les deux précédentes sous-classes. Le troisième groupe est représenté par le département de Méagui au sein duquel, les CMA ont produit les plus importantes fréquences (96,89 %) et intensités de mycorhization (M=32,22 %; m=32,97 %) chez les cacaoyers.

Discussion

L'étude a permis de mettre en évidence la présence de CMA dans le verger cacaoyer ivoirien. Elle a permis de distinguer des hyphes, des vésicules et des spores, les arbuscules ayant été observés plus rarement. Ces structures ont été observées dans diverses études dans le monde (Anguiby *et al.*, 2019 ; Bi Voko, 2013) et choisies pour confirmer la mycorhization chez plusieurs espèces végétales dont le cacaoyer (Cuanca et Menesses, 1996). Cela suggère que le cacaoyer est capable d'induire une mycorhization. Le morphotype des spores directement isolées des champs a permis de mettre en évidence une importante diversité morphologique de champignons mycorhiziens à arbuscule dans la rhizosphère du cacaoyer. Cette technique a été utilisée par divers auteurs (Sousa *et al.* 2018; Marinho *et al.* 2019; Solís-Rodríguez *et al.* 2020) pour l'identification effective CMA. Au total, 49 espèces de CMA appartenant à 10 familles et 17 genres ont été observées. Les genres *Glomus* (14,08 %) et *Acaulospora* (12,67 %) sont les plus représentés. L'espèce dominante du verger est *Claroideoglomus etunicatum*. Dix-sept autres espèces sont rencontrées de manière fréquente dans le verger et témoigne de leur adaptation au cacaoyer. Cette importante diversité est comparable à celle observée par Bi voko *et al.* (2013) dans la rhizosphère du manioc. En effet, cet auteur a mis en évidence la présence de 44 espèces de CMA. Par contre, cette richesse spécifique est supérieure à celle observée dans les systèmes agroforestiers à cacaoyer (SAFc) en Colombie (23 espèces), au Venezuela (15 espèces) et au Brésil (8 espèces) par Sandoval *et al.*, 2020 ; Cuanca et Meneses (1996) ; Arujo *et al.*, 2007. Le

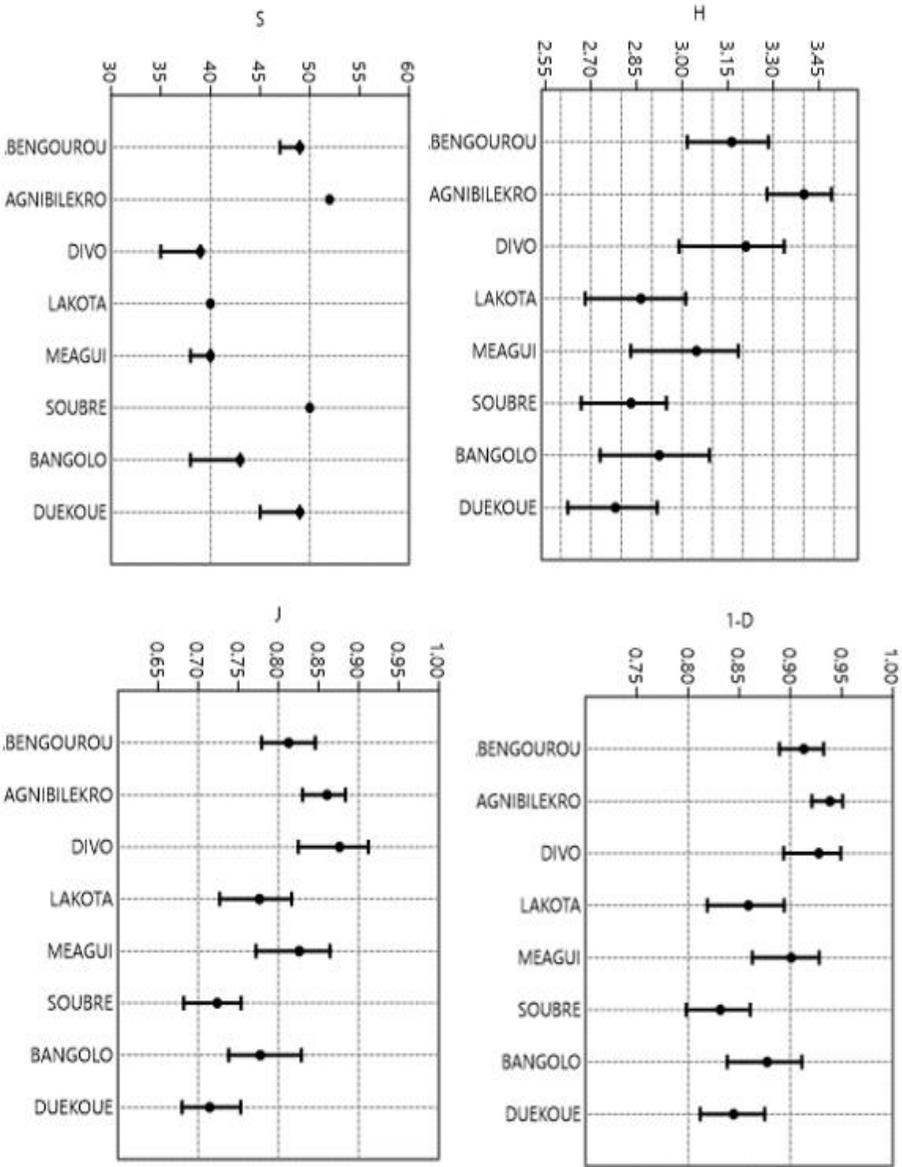


Figure 5 . Indice de diversité des espèces de CMA en fonction des localités ABENGOUROU et non BENGOUROU

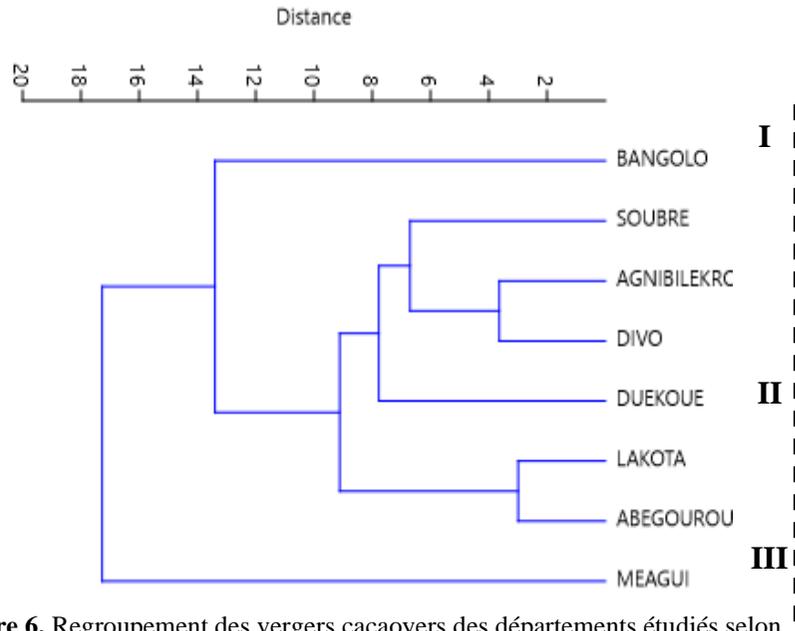


Figure 6. Regroupement des vergers cacaoyers des départements étudiés selon

Faible endémisme de CMA rencontré suggère que la biogéographie des CMA est largement déterminée d’une part par le microclimat similaire créer au sein des cacaoyères et d’autre part, par l’interaction avec la plante hôte en l’occurrence le cacaoyer. Cela est corroboré par Davison *et al.* (2016) et Vályi *et al.* (2016), qui montrent que dans des conditions environnementales similaires et par des interactions avec le même pool d’espèce, les communautés locales convergent vers une composition commune. Cependant l’apparition de certaines espèces endémiques aux localités ou aux ZAE met en évidence une probable influence des différences climatiques entre les ZAE et probablement des caractéristiques du sol (Lauber *et al.*, 2008 ; Thomson *et al.*, 2015). En outre, le genre *Glomus* est le plus diversifié dans le verger cacaoyer de Côte d’Ivoire. Cette observation est corroborée par Zako *et al.* 2012 dans le verger cacaoyer de la zone de Yamoussoukro. La prédominance de ce genre, a également été montré dans de nombreux sols en Afrique de l’Ouest et ailleurs dans le monde (Ajaz *et al.*, 2017 ; Meddich *et al.*, 2017). Selon Pande et Tarafdar (2004), le genre *Glomus* est numériquement plus important dans les zones tropicales. La prédominance des espèces du genre *Glomus* dans la plupart des écosystèmes suggère une meilleure adaptation de ce genre aux conditions les plus hostiles telles que la sécheresse, la salinité et autres stress environnementaux, ou à une large gamme de niches écologiques (Houngnandan *et al.*, 2009). Il est suggéré également que les espèces du genre *Glomus* et *Acaulospora* se propagent préférentiellement par les spores qui sont des formes de résistance des CMA aux conditions difficiles tandis que les autres genres comme, *Scutellospora*, *Gigaspora*, et *Pacispora* se propagent davantage avec d’autres types de propagules tels que les hyphes et les

fragments mycéliens extra-racinaires (Brito *et al.*, 2012). Suivant la répartition des CMA au sein de région, 3 grandes zones d'influences ont pu être distinguées. La première zone d'influence est composé du département de Bangolo, au sein duquel les CMA recensés ont produit le plus de spore. La seconde zone d'influence comprend les départements de Soubré, d'Agnibilékro et de Divo dans lesquelles le nombre de spores viables est plus élevé ainsi que la diversité des espèces. Et enfin la troisième zone d'influence est composée des départements de Méagui qui favorise dans laquelle les CMA présentent une forte capacité d'infection racinaire. La ZAE n'a pas influencé la production de spore. L'abondance des spores, en général ainsi que celles des spores viables (comprise entre 1,4 et 5,5 spores/g de sol), a variée dans la ZAE de l'Ouest. Ce nombre de spore se rapproche de celui de Droh *et al.*, 2022 (0,65 à 3,98 spore/g dans la rhizosphère du maïs), de celui de Touré *et al.*, 2021 obtenu dans un écotone forêt savane (entre 2 et 4,5 spores) et celui de Anguiby *et al.*, 2019 obtenu dans la rhizosphère de Makoré et Fromager (3,58 à 5,35 spore/g de sol). Cependant, ce nombre de spore est relativement faible par rapport à celui obtenu dans des SAFc au Cameroun par Snoeck *et al.*, 2019 (16 à 36 spores/g de sol), ou par Prieto *et al.*, 2012 en Equateur (15-25 spore / g de sol). Selon McGee, (1989) celui-ci n'est pas important pour permettre une colonisation effective des racines. À cet effet, une fréquence de mycorhizaion supérieure à 80 % a été observée chez les cacaoyers. Cela peut s'expliquer par le fait que les propagules mycorhizienne qui initient la colonisation racinaire peuvent être des spores, des fragments racinaires infectés ou des hyphes. Ces deux derniers types de propagules constituent même souvent les principaux moyens de colonisation racinaire quoique les spores puissent être abondantes (Birch, 1986). Ceci est en adéquation avec les résultats obtenus dans cette étude. En effet, le potentiel infectieux mycorhizogène d'un sol ne dépend pas uniquement de la densité de spores, mais également de leur qualité et leur capacité d'adaptation (Meddich *et al.*, 2017).

Conclusion

Cette étude vise à évaluer la diversité de champignons mycorhiziens à arbuscule et leur abondance dans le verger cacaoyer de Côte d'Ivoire. Elle a révélé la présence d'une large diversité de CMA dans ??? verger cacaoyer ivoirien. Elle révèle que les systèmes agroforestiers cacaoyers favorisent le maintien de ces communautés. Par ailleurs, la fréquence de mycorhization était relativement élevée avec la formation de vésicules et d'arbuscules à l'intérieur des racines. Elle émet l'hypothèse que cette symbiose est capable d'initier et de favoriser un meilleur développement des cacaoyers malgré les conditions climatiques défavorables. Sur la base de ces résultats, les spores des CMA peuvent être isolées et multipliées pour constituer un inoculum

indigène utilisé pour la production de cacaoyer durable. Cependant, l'identification morphologique des espèces pouvant occasionner des biais, l'usage de la biologie moléculaire, en particulier l'amplification et le séquençage, et les analyses phylogénétiques utilisant l'ARNr18S peuvent être envisagées.

Conflit d'intérêts : Les auteurs déclarent qu'ils n'ont aucun conflit d'intérêt.

Disponibilité des données : Les données météorologiques ont été collectées entre 1991 et 2021 pour les variables de température, précipitation, humidité, jours de pluie. Elles proviennent du Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme (CEPMMT). Toutes les autres données sont incluses dans le contenu de l'article.

Déclaration de financement : Cette étude a été financée par CIFOR-ICRAF et Centre d'Excellence Africain sur les Changement Climatique, la Biodiversité et le Développement Durable (CEA-CCBAD).

References:

1. Ajaz, T., Nain, M. Z., Kamaiah, B. and Sharma, N. K. (2017), "Stock prices, exchange rate and interest rate: evidence beyond symmetry", *Journal of Financial Economic Policy*, Vol. 9 No. 1, pp. 2-19. <https://doi.org/10.1108/JFEP-01-2016-0007>.
2. Anguiby, B. L. A., Ouattara G., Bomisso, E. L., N'goran, B., Ouattara, B., Coulibaly, S. A., Aké S. (2019). Evaluation du statut mycorhizien d'arbres de *Ceiba pentandra* (L), Gaertn et *Tieghemella heckelii* (A.Chev), Pierre, du jardin Botanique de Bingerville en Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences* 138 : 14092-14105
3. Azcon-Aguilar, C. & Barea, J. M. (1996). Arbuscular mycorrhizas and biological control of soil-borne plant pathogens – An overview of the mechanisms involved. *Mycorrhiza* 6: 457-464.
4. Brundrett, M. C., Ashwath, N., & Jasper, D. A. (1996). Mycorrhizas in the Kakadu region of tropical Australia. 1. Propagules of mycorrhizal fungi and soil properties in natural habitats. *Plant and Soil* 184: 159– 171.
5. Clough, Y., Barkmann, J., Jührbandt, J., Kessler, M., Wanger, T. C., Anshary, A., Buchori, D., Cicuzza, D., Darras, K., Putra, D. D., Erasmi, S., Pitopang, R., Schmidt, C., Schulze, C. H., Seidel, D., Steffan-Dewenter, I., Stenchly, K., Vidal, S., Weist, M. & Tschardtke, T. (2011). Combining high biodiversity with high yields in tropical agroforests. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(20), 8311-8316. <https://doi.org/10.1073/pnas.1016799108>

6. Cuenca, G., Meneses, E. (1996). Diversity patterns of arbuscular mycorrhizal fungi associated with cacao in Venezuela. *Plant Soil* 183, 315–322 (1996).
7. Snoeck, D. J. B., Laurent, N. Durini, M. (2018) Dromard FertExpert-Coffee: an innovative solution to calculate the fertiliser formula most suited to the actual conditions of each plantation ASIC conference (Association for Science and Information on Coffee). 27, 2018-09-16/2018-09-20, Portland (USA) (2018)
8. Davison, A., McDowell, GS, Holden J. M., Johnson HF, Koutsovoulos, G. D., Liu M. M, Hulpiau, P, Van Roy, F., Wade, C. M., Banerjee, R., Yang, F., Chiba, S., Davey, J. W., Jackson, D. J., Levin, M., Blaxter, M. L. (2016). Formin Is Associated with Left-Right Asymmetry in the Pond Snail and the Frog. *Curr Biol*. 2016 Mar 7; 26(5):654-60. doi: 10.1016/j.cub.2015.12.071. Epub 2016 Feb 25. PMID: 26923788; PMCID: PMC4791482.
9. Dje, K. B. (2014). Document de stratégie du programme national Changement climatique (2015 – 2020). Ministère de l'environnement, de la Salubrité urbaine et du développement durable, Abidjan, Côte d'Ivoire. 70 p. 16.
10. Droh, G., Djezou, K. M., Kouassi, K. B. A., Kouassi, A. B., Tiecoura, K. (2022). Diversity of Arbuscular Mycorrhizal Fungi Spores in Maize (*Zea mays* L.) Plantations in Côte d'Ivoire. *American Journal of Agriculture and Forestry*. Vol. 10, No. 5, 2022, pp. 170-180. doi: 10.11648/j.ajaf.20221005.14
11. Gerdemann, T. & Nicolson, H. (1963). Spores of endogone species from soil by wet sieving and decanting. *Trans. Br. Myc. Soc.* 46: 235 - 244.
12. Houngnandan, P., Yemadje, R. G. H., Kane, A., Boeckx, P., Van Cleemput, O. (2009). Les glomales indigènes de la forêt claire à *Isoberlinia doka* (Craib et Stapf) à Wari-Marou au centre du Bénin, p. 83-87. vol. 27 no 2.
13. INVAM, (2021). International culture collection of VA Mycorrhizal fungi. Consulted on July 15, 2021. <http://www.invam.caf.wvu.edu>.
14. Lauber, C. L., Strickland, M. S., Bradford, M. A., Fierer, N. (2008). The influence of soil properties on the structure of bacterial and fungal communities across land-use types. *Soil Biol. Biochem.* 40, 2407–2415.
15. Maherali, H., Klironomos, J. N. (2007) Influence of Phylogeny on Fungal Community Assembly and Ecosystem Functioning. *Science* 316:1746–1748. doi: 10.1126/science.1143082
16. Marinho, F., Carvalho, C. M., Apolinário, F. R. & Paulucci, L. (2019).
European Physical Society

- European Journal of Physics, Volume 40, Number 3. DOI 10.1088/1361-6404/ab11f1
17. Meddich, A., Ait El Mokhtar, M., Wahbi, S. & Boumezzough, A. (2017). Évaluation des potentialités mycorrhizogènes en lien avec les paramètres physico-chimiques des sols de palmeraies du Maroc (Marrakech et Tafilalet). Cah. Agric. 26: 45012.
 18. Morton, J. B. & Benny, J. (1990). Revised classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Zygomycetes): a new order, Glomales, two new suborders, Glominae and Gigasporinae, and two new families, Acaulosporaceae and Gigasporaceae, with an amediation of Glomaceae. Mycotaxon, 37 : 471-491.
 19. Murphy, J. & Riley J. P. (1962) - A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Analytical Chemistry Acta, 27, pp. 31-36 Gobat et al 2003
 20. Olsen, S. R. (1952). Measurement of surface phosphore on hydroxylapatite and phosphate rock with radiophosphorus. Journal of Physical Chemistry, 56: 630-632.
 21. Phalan, B., Balmford, A., Green, R. E., Scharlemann, J. P. W. (2011). Minimising harm to biodiversity of producing more food globally. Food Policy, 36: 62-71.
 22. Phillips, J. M. & Hayman, D. A. (1970) Improved Procedures for Clearing Roots and Staining Parasitic and Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Fungi for Rapid Assessment of Infection. Transactions of the British Mycological Society, 55, 158-161. [http://dx.doi.org/10.1016/S0007-1536\(70\)80110-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0007-1536(70)80110-3)
 23. Pielou, E.C. (1977) Mathematical Ecology. Wiley, New York.
 24. Rincón, C., · Droh, G., Villard, L., Masclaux, F. G., N'guetta, A., Zeze, A. & Sanders, I. R. (2021) - Hierarchical spatial sampling reveals factors influencing arbuscular mycorrhizal fungus diversity in Côte d'Ivoire cocoa plantations. Mycorrhiza (2021) 31:289–300. <https://doi.org/10.1007/s00572-020-01019-w>.
 25. Sandoval-Pineda, J. F., Pérez-Moncada, U. A., Rodriguez, A. & Torres Rojas, E. (2020). Alta presencia de cadmio resulta en baja diversidad de hongos formadores de micorrizas arbusculares asociados a cacao (*Theobroma cacao* L.). Acta Biol Colomb. 2020; 25(3):333-344. Doi: <http://dx.doi.org/10.15446/abc.v25n3.78746>
 26. Schenck, N. C. & Pérez, Y, 1987. Monual for the identification of VA mycorrhizal fungi (First Edition Synergetic Publicotions). Gainesville, Florida, U.S.A, University of Florida, 245 p.
 27. Shannon, C. E. & Weaver, W. (1949). The mathematical theory of communication. The university of illinois press. Urbana

28. Sieverding, E. (1991). Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems. Eschborn: GTZ.
29. Solís Rodríguez, F. T., Guaderrama Angeles, K. Y., Cerda, G. L. C., & Portillo Reyes, M. (2020). Motivaciones de las generaciones millennial y centennial para la creación de nuevas empresas. *Administración Y Organizaciones*, 23(45), 84–99. <https://doi.org/10.24275/uam/xoc/dcsh/rayo/2020v23n45/Solis>
30. Sousa, N. M. F., Veresoglou, S. D., Oehl, F., Rillig, M. C. & Maia, L. C. (2018) Predictors of arbuscular mycorrhizal fungal communities in the Brazilian tropical dry forest. *Microb Ecol* 75:447–458.
31. Thomson, B. C., Tisserant, E., Plassart, P., Uroz, S., Griffiths, R. I., Hannula, S. E., Buée, M., Mougel, C., Ranjard, L., Van Veen, J. A., Martin, F., Bailey, M. J. & Lemanceau, P., (2015). Soil conditions and land use intensification effects on soil microbial communities across a range of European field sites. *Soil Biol. Biochem.* 88, 403–413. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2015.06.012>
32. Touré, G.-P. T., Nandjui, J., Koné, A. W., Kouadjo, A. G. Z., Ebou, A., Tiho S. & Zézé A. (2021) - Diversité des champignons mycorrhiziens à arbuscules et interactions avec le système sol-litière dans un écotone forêt-savane, Côte d'Ivoire - Etude et Gestion des Sols, 28, 93-104
33. Trouvelot, A., Kough, J. L. & Gianinazzi-Pearson, V. (1986) Mesure du taux de mycorhization VA d'un système racinaire. Recherche de methodes d'estimation ayant une signification fonctionnelle. In: Gianinazzi-Pearson V. and Gianinazzi, S., Eds, *Physiological and Genetical Aspects of Mycorrhizae*, INRA, Paris, 217-221.
34. Vályi, K., Mardhiah, U. & Rillig, M. (2016) Community assembly and coexistence in communities of arbuscular mycorrhizal fungi. *ISME J* 10, 2341–2351 (2016). <https://doi.org/10.1038/ismej.2016.46>
35. Voko Bi, D., Ahonzo-Niamke, S. & Zeze, A. (2013). Impact des propriétés physicochimiques des sols de culture du manioc sur l'abondance et la diversité des communautés de champignons Mycorrhiziens à arbuscules dans la zone agroécologique d'Azaguié, sud-est de la Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine* 25 (3), 251-264
36. Zako Bi, I. M. S, Tié, B. T., Zirihi, G. N., Kouadjo, Z. C. G., Fossou, K. R. & Adolphe, Z. (2012). Arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Theobroma cacao* L. in the region of Yamoussoukro (Côte d'Ivoire). *African Journal of Agricultural Research* Vol. 7(6), pp. 993-1001, 12 February, 2012 Available online at <http://www.academicjournals.org/AJAR> DOI: 10.5897/AJAR11.2057 ISSN 1991-637X.

37. Austin, JH (1998). Zen et le cerveau : vers une compréhension de la méditation et de la conscience. Cambridge, Massachusetts : MIT Press.
38. Clancy, T., Stiner, C., & Koltz, T. (2002). Shadow Warriors : Au sein des forces spéciales. New York, NY : Putnam
39. Calarco, M., & Atterton, P. (2009). Philosophie Animale : Lectures essentielles de la pensée continentale. New York, NY : Continuum.
40. Chen, JQ (2003). Intelligence : intelligences multiples. Dans J. Guthrie (Ed.), Encyclopedia of education (pp. 1198-1201). New York, NY : Macmillan.
41. Goertz, G., & Mahoney, J. (2012). Une histoire de deux cultures. Presse universitaire de Princeton.
42. IJCME (nd). Rôles et responsabilités des auteurs, contributeurs, réviseurs, éditeurs, éditeurs et propriétaires. Extrait de <http://www.icmje.org/recommendations/browse/roles-and-responsabilités/>
43. Jatin, S., Shah Anand, D., & Ricardo, P. (2009). L'écriture scientifique des chercheurs débutants : quelles difficultés et encouragements rencontrent-ils ? Médecine académique : Journal de l'Association des facultés de médecine américaines, 84(4), 511.
44. Leavis, FR (2013). Les deux cultures ? La presse de l'Université de Cambridge.
45. Neige, CP (1959). Deux cultures. Sciences, 130(3373), 419-419.