

# Diversité des champignons mycorhiziens à arbuscules et interactions avec le système sol-litière dans un écotone forêt-savane, Côte d'Ivoire

G.-P. T. Touré<sup>(1, 2\*)</sup>, J. Nandjui<sup>(2)</sup>, A. W. Koné<sup>(1)</sup>, A. G. Z. Kouadjo<sup>(3)</sup>, A. Ebou<sup>(2)</sup>, S. Tiho<sup>(4)</sup> et A. Zézé<sup>(2)</sup>

- 1) UR Gestion Durable des Sols, UFR Sciences de la Nature, Université Nangui Abrogoua, 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire.
- 2) Laboratoire de Biotechnologie Végétale et Microbienne (LBVM), Ecole Supérieure d'Agronomie (ESA), Institut National Polytechnique Houphouët-Boigny (INP-HB), BP 1313 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire.
- 3) Laboratoire Central de Biotechnologies (LCB), Centre National de la Recherche Agronomique (CNRA), Abidjan, Côte d'Ivoire.
- 4) Laboratoire d'Ecologie et du Développement Durable (LEDD), UFR Sciences de la Nature, Université Nangui Abrogoua, 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire.

\* Auteur correspondant : guypacome.toure@gmail.com

## RÉSUMÉ

L'évaluation de la biodiversité et la compréhension des facteurs qui déterminent la distribution des espèces constituent un préalable à l'optimisation des services écosystémiques du sol. Cependant, la diversité des espèces indigènes de champignons mycorhiziens à arbuscules (CMA) dans les zones de transition forêt-savane et de savane d'Afrique de l'Ouest reste à ce jour mal connue. Cette étude menée au Centre de la Côte d'Ivoire, où les sols ont un potentiel agronomique faible, a pour but d'évaluer la diversité des CMA dans deux écosystèmes naturels contrastés mais entremêlés, la forêt et la savane arbustive. Le sol a été échantillonné dans quatre îlots de forêt et quatre îlots de savane arbustive, dans la strate 0-20 cm, pour en déterminer les caractéristiques physico-chimiques ainsi que la densité des spores et la diversité des CMA. Les espèces ont été identifiées par voie moléculaire. Les résultats ont montré que les densités des spores de CMA étaient plus élevées dans la forêt ; en revanche, le ratio "spores viables/densité totale" était plus élevé en savane arbustive. Au total, 26 espèces de CMA ont été identifiées dont 23 en forêt, 22 en savane arbustive et 19 espèces communes. Aucune différence significative n'a été observée au niveau des paramètres de diversité entre les deux écosystèmes mais ils différaient au niveau de la composition spécifique des CMA. En effet, les espèces *Acaulospora mellea*, *Claroideoglossum claroideum*, *Glomus macrocarpum* et *Paraglossum majewskii* étaient présentes uniquement dans la forêt tandis que *G. indicum*, *Acaulospora* sp et *Ambispora* sp n'étaient observées qu'en savane arbustive. Dans cette étude, seulement 35 % des espèces de

Comment citer cet article :

Touré G.-P. T., Nandjui J., Koné A. W., Kouadjo A. G. Z., Ebou A., Tiho S. et Zézé A., 2021 - Diversité des champignons mycorhiziens 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

Comment télécharger cet article :

<http://www.afes.fr/publications/revue-etude-et-gestion-des-sols/volume-28-numero-1/>

Comment consulter/télécharger tous les articles de la revue EGS :

<https://www.afes.fr/publications/revue-etude-et-gestion-des-sols/>

CMA étaient corrélées aux caractéristiques physico-chimiques du système sol-litière ; les plus sensibles étant *C. lamellosum*, *G. indicum* et *P. majewskii*.

#### Mots-clés

Interaction sol-plante, espèce ubiquiste, espèce indicatrice, répartition spatiale de CMA, diversité fonctionnelle.

#### SUMMARY

##### **DIVERSITY OF ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI AND INTERACTIONS WITH THE SOIL-LITTER SYSTEM IN A FOREST-SAVANNA ECOTONE OF CÔTE D'IVOIRE**

Assessing biodiversity and knowing the factors that determine the distribution of species constitute a prerequisite for optimizing ecosystem services. However, the diversity of native arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) species in the West African savanna zones remain poorly known. This study was carried out in central Côte d'Ivoire, aiming to assess the molecular diversity of AMF communities in two contrasted and intermingled natural ecosystems, forest and shrub savanna, and to find out the physico-chemical characteristics of the soil-litter system that determine shift in AMF communities. Soils were sampled at the 0-20 cm depth in natural but degraded forest and natural shrub savannas, four stands each, to determine chemical and physical parameters as well as AMF spore density and diversity. Species were identified using molecular procedures. Results showed that the total and healthy spore densities were higher in forest than in shrub savanna but reverse trend was observed for the healthy spores/total spore density ratio. In total, 26 species were identified in the study area including 23 in forest, 22 in the shrub savanna and 19 species in common. No significant difference was observed between the two ecosystems in terms of diversity but they differed in terms of CMA community composition. The species *Acaulospora mellea*, *Claroideoglossum claroideum*, *Glomus macrocarpum* and *Paraglossum majewskii* were found to be specific to the forest while *G. indicum*, *Acaulospora* sp and *Ambispora* sp were encountered in savanna only. Remarkably, only 35 % of the AMF species significantly correlated with the physico-chemical characteristics of the soil-litter system, with *C. lamellosum*, *G. indicum* and *P. majewskii* as the most responsive species.

#### Key-words

Soil-plant interaction, ubiquitous species, indicator species, AMF spatial distribution, functional diversity.

#### RESUMEN

##### **DIVERSIDAD DE LOS HONGOS MICORRIZICOS ARBUSCULARES Y INTERACCIONES CON EL SISTEMA SUELO-HOJARASCA EN UN ECÓTONO SELVA-SABANA, COSTA DE MARFIL**

La evaluación de la biodiversidad y la comprensión de los factores que determinan la distribución de las especies es un requisito para la optimización de los servicios ecosistémicos del suelo. Sin embargo, la diversidad de las especies indígenas de hongos micorrizicos arbusculares (CMA) en las zonas de transición selva-sabana y de sabana de África del Oeste queda hoy poco conocida. Este estudio realizado en el Centro de Costa de Marfil, donde los suelos poseen un pequeño potencial agronómico, tiene como finalidad evaluar la diversidad de los CMA en dos ecosistemas naturales contrastados pero entremezclados, la selva y la sabana arbustiva. Se muestreó el suelo en cuatro islotes de selva y cuatro islotes de sabana arbustiva, en la capa 0-20 cm, para determinar las características físico-químicas así que la densidad de esporas y la diversidad de CMA. Las especies se identificaron por vía molecular. Los resultados mostraron que las densidades de las esporas de CMA estaban más elevadas en la selva ; al contrario, el ratio "esporas viables / densidad total" estaba más elevado en sabana arbustiva. Al total, se identificaron 26 especies de CMA de las cuales 23 en selva, 22 en sabana arbustiva y 19 especies comunes. Se observó ninguna diferencia significativa al nivel de los parámetros de diversidad entre los dos ecosistemas pero se diferenciaron al nivel de la composición específica de los CMA. En efecto, las especies *mellea*, *Claroideoglossum claroideum*, *Glomus macrocarpum* et *Paraglossum majewskii* eran presentes únicamente en la selva mientras que *G. indicum*, *Acaulospora* sp se observaron solamente en sabana arbustiva. En este estudio, solamente 35 % de las especies de CMA se correlacionaron a las características físico-químicas del sistema suelo-hojarasca ; las más vulnerables son *C. lamellosum*, *G. indicum* et *P. majewskii*.

#### Palabras clave

Interacción suelo-planta, especies ubiquistas, especies indicadoras, repartición espacial de CMA, diversidad funcional.

La croissance des plantes dépend des interactions qu'elles entretiennent avec le milieu environnant, notamment le sol et les microorganismes qu'il abrite. Parmi ces microorganismes figurent les champignons mycorhiziens qui sont des symbiotes des racines de plantes (Lounès-Hadj, 2013). Ces champignons telluriques jouent un rôle important dans le fonctionnement des écosystèmes terrestres de par leur ubiquité et leur implication directe dans les processus essentiels se déroulant à l'interface sol-plante (Smith *et al.*, 1993). Parmi ces champignons symbiotiques, les champignons mycorhiziens à arbuscules (CMA) constituent le groupe le plus répandu avec des effets bénéfiques reconnus sur la croissance des plantes (Smith et Smith, 2011 ; Shi *et al.*, 2013). En effet, les CMA peuvent pénétrer et coloniser les cellules du cortex racinaire de plus de 80 % des plantes terrestres (Lounès-Hadj, 2013). À travers leur mycélium extraracinaire, ces microorganismes améliorent la nutrition hydrique et minérale (principalement phosphorée) de leurs hôtes (Leye *et al.*, 2015). Ils confèrent également une protection accrue à la plante contre les attaques de nématodes et autres champignons bioagresseurs du sol (Tchabi *et al.*, 2016 ; Ouattara *et al.*, 2019), le stress hydrique (Fotso *et al.*, 2019) et la salinité (Beltrano *et al.*, 2013). L'évaluation de la diversité de ces organismes et la compréhension des facteurs qui déterminent leur distribution revêtent par conséquent une importance capitale.

Au centre de la Côte d'Ivoire, la végétation consiste en une mosaïque forêt-savane. La transition entre les deux écosystèmes est visible et leurs flores respectives sont différentes (Soro *et al.*, 2018). Dans cette zone agroécologique, l'agriculture de subsistance représente la principale activité des populations. Elle est contrainte par les faibles teneurs des sols en matière organique et phosphore assimilable (Koné *et al.*, 2020). Dans ce contexte, l'optimisation de l'activité biologique pourrait compenser dans une certaine mesure le faible niveau de fertilité chimique de ces sols (Feller, 1995 ; Koné *et al.*, 2008) d'où l'importance grandissante de la prise en compte des CMA en agriculture (Séry *et al.*, 2016 ; Kouadio *et al.*, 2017). Toutefois, en amont, il est nécessaire de connaître les espèces présentes dans cette zone agroécologique et d'identifier celles qui montrent des spécificités avec les caractéristiques physico-chimiques du système sol-litière constituant leur habitat.

De nombreux travaux sur le fonctionnement des écosystèmes terrestres ont porté sur les relations entre les espèces végétales et les organismes du sol (Wang *et al.*, 2017 ; Francioli *et al.*, 2020). La nature (direction et amplitude) de ces interactions apparaît complexe. Malgré leur importance écologique et agronomique reconnue, les CMA associés aux écosystèmes de forêt ou de savane de Côte d'Ivoire, et d'Afrique de l'ouest plus généralement, ont fait l'objet de très peu d'études surtout au niveau de leur diversité (Zézé *et al.*, 2007 ; Tchabi *et al.*, 2008).

L'objectif de cette étude est d'évaluer la diversité moléculaire et la distribution des CMA dans la mosaïque de forêts et de

savanes arbustives au Centre de la Côte d'Ivoire. Elle entend également identifier les paramètres physico-chimiques du système sol-litière pouvant influencer cette distribution spatiale. Elle est basée sur les hypothèses que la composition spécifique des CMA varie fortement ( $\approx 50\%$ ) entre les écosystèmes de forêt et de savane et la plupart des espèces sont sensibles aux changements de caractéristiques physico-chimiques du microhabitat (système litière-sol).

## MATÉRIELS ET MÉTHODES

### Site d'étude

Cette étude a été menée à la périphérie de la réserve scientifique de Lamto (6°10-6°15 N et 4°55-5°00 W), située au centre de la Côte d'Ivoire dans la zone de transition entre la forêt dense semi-décidue et la savane guinéenne. Le climat est de type tropical humide avec quatre saisons : une grande saison sèche de décembre à février ; une grande saison de pluie de mars à juillet ; une petite saison sèche en août et enfin une petite saison de pluies de septembre à novembre. Les précipitations et températures moyennes annuelles des dix années avant celle de la présente étude (2018) étaient respectivement de 1 167,2 mm et 28,4 °C. Durant l'année d'étude, la pluviométrie moyenne était de 1 090,9 mm et la température moyenne était de 28,9 °C (Tiémoko *et al.*, 2020). La végétation est une mosaïque de forêt, savane et brousse à *Chromolaena odorata*. La savane représente 80 % du couvert végétal et est caractérisée par une association d'Andropogoneae (*Andropogon* spp et *Hyparrhenia* spp), de *Borassus aethiopum* Mart. et de quelques arbustes (Soro *et al.*, 2018).

Les sols sont majoritairement des Ferralsols moyennement désaturés reposant sur du matériel d'origine granitique. Les couches supérieures sont généralement de texture sableuse (60 à 80 %), la teneur du sol en carbone organique est faible en savane ( $\sim 10$  g C kg<sup>-1</sup>) et moyenne en forêt ( $\sim 20$  g C kg<sup>-1</sup>) ; les couches superficielles sont également pauvres en phosphore et en cations basiques (Koné *et al.*, 2020).

### Dispositif expérimental

Le travail de terrain a été réalisé en 2018, à la fin de la grande saison des pluies et a concerné deux types de couverture végétale : la forêt (FOR) et la savane arbustive (SAV). Chacun de ces écosystèmes était représenté quatre fois. Toutes les parcelles expérimentales étaient de 15 m x 15 m de dimensions, délimitées sur des sites à faible pente ( $\approx 5\%$ ). Une brève description des traitements est la suivante :

- **Forêt** : îlots de forêts sémi-décidues qui ont été dégradées à travers quelques abattages d'arbres. Les espèces d'arbres

dominants sont *Celtis philippensis* (Ulmaceae), *Antiaris toxicaria* (Moraceae), *Pouteria alnifolia* (Sapotaceae), *Lecaniodiscus cupanioides* (Sapindaceae), *Erythroxylum emarginatum* (Erythroxylaceae), *Cryptosepalum tetraphyllum* (Fabaceae), *Dialium guineense* (Fabaceae) et *Napoleonaea vogelii* (Lecythidaceae) (Soro et al., 2018). Les sols sont de texture sablo-argileuse à argilo-sableuse de la surface vers la profondeur, avec 15-25 % d'argiles en surface (Koné et al., 2012). Ces îlots de forêt n'avaient jamais été cultivés.

- **Savane** : îlots de savanes arbustives dominées par *Hyparrhenia diplandra* (Poaceae), *Imperata cylindrica* (Poaceae) au niveau de la strate herbacée et par *Bridelia ferruginea* (Phyllanthaceae), *Crossopteryx febrifuga* (Rubiaceae), *Terminalia schimperiana* (Combretaceae), *Annona senegalensis* (Annonaceae) au niveau de la strate arbustive (Soro et al., 2018). Les sols sont de texture sableuse à sablo-argileuse de la surface vers la profondeur, avec 10 à 15 % d'argiles en surface (Koné et al., 2012). Ces îlots n'avaient jamais été cultivés mais ont occasionnellement subi des feux de brousses qui surviennent annuellement dans la région (N'Dri et al., 2018).

### Échantillonnage de litière de feuilles et de sol

La litière de feuilles a été échantillonnée sur chaque parcelle à l'aide d'un quadrat de 1 m<sup>2</sup> disposé en deux points distincts suivant une diagonale. Ensuite, la litière a été séchée à l'étuve à 60 °C jusqu'à masse constante. Pour une parcelle donnée, la moyenne a été obtenue après détermination à partir des valeurs obtenues aux deux points de collecte. Un aliquote de 20 g a été broyé et conservé dans des sachets en plastique pour les analyses chimiques.

Les échantillons de sol ont été collectés dans la couche 0-20 cm à l'aide d'une tarière. Pour chaque parcelle expérimentale, l'échantillon analysé était un composite de 12 prélèvements élémentaires distribués sur deux cercles concentriques de 3 et 6 m de rayon autour d'un point central (Huang et Cares, 2004). Cet échantillon a ensuite été subdivisé en trois parties pour : (i) la mesure des paramètres physico-chimiques, (ii) l'extraction et le dénombrement des spores de CMA, et (iii) l'extraction de l'ADN du sol et l'identification des espèces de CMA.

### Caractérisations physico-chimiques des échantillons de litière et de sol

Les teneurs en carbone et en azote des échantillons de litières de feuilles et de sol ont été déterminées par combustion sèche au CHN\_autoanalyzer (EA1112 Thermo Finnigan Series, France). La teneur en phosphore de ces échantillons a été évaluée après extraction par attaque nitro-perchlorique, suivie de lecture au colorimètre de la solution colorée au bleu de molybdène à 660 nm (Murphy et Riley, 1962). La texture du sol

a été calculée en utilisant la méthode de la pipette de Robinson (Anderson et Ingram, 1993). Le pH du sol a été mesuré à l'aide d'un pH-mètre à électrodes sur une suspension sol/eau dans un rapport 1/2,5.

### Extraction et dénombrement des spores de champignons mycorhiziens à arbuscules

Les spores ont été extraites par la méthode de tamisage humide (Gerdemann et Nicolson, 1963). Pour ce faire, nous avons procédé au délayage d'un échantillon de 50 g de sol sec dans 500 ml d'eau de robinet dans un bécher de 2 litres. Le surnageant du bécher a été décanté à travers une série de tamis superposés, à mailles décroissantes (250 µm, 125 µm, 90 µm et 45 µm). Les particules de taille supérieure à 250 µm, généralement composées de débris, ont été rejetées alors que les particules recueillies dans les trois autres tamis (125 µm, 90 µm et 45 µm) ont été collectées et centrifugées (2000 tr/min pendant 5 minutes). Le culot a été suspendu dans une solution de saccharose (50 %) et centrifugé à nouveau (2000 tr/min pendant une minute). Les spores en suspension ont été filtrées et comptées en utilisant une loupe binoculaire au grossissement 40X selon la méthode décrite par INVAM (INVAM, 2018). Au cours du dénombrement, les spores de CMA ont été regroupées en deux classes : spores viables et non-viables (dégradées et généralement de couleur noire). La densité des spores de CMA est estimée en spores/gramme de sol.

### Identification des champignons mycorhiziens à arbuscules par approche moléculaire

L'ADN total du sol a été extrait en utilisant le kit d'extraction *DNeasy PowerSoil* en suivant minutieusement la procédure indiquée par le fabricant (*Qiagen GmbH-Germany*). La région ITS a été amplifiée à l'aide d'amorces spécifiques de champignons ITS1 (5'-CTTGGTCATTTAGAGGAAGTAA-3') et ITS4 (5'-TCCTCCGCTTATTGATATGC-3'). L'ADN a été amplifié en utilisant le kit *HotStarTaq Plus Master* (*Qiagen, Valencia, CA*). Les produits PCR de différents échantillons ont été mélangés en proportions égales puis purifiés à l'aide des *Agencourt Ampure beads* (*Agencourt Bioscience Corporation, USA*). Le séquençage de 2 x 250 paires de bases (pb) a été réalisé grâce à une machine *Sequencing Illumina MiSeq* (*Illumina Inc., San Diego, CA, USA*). L'amplification par PCR et le séquençage ont été réalisés en janvier 2020 par le laboratoire de *MR DNA (Molecular Research LP, USA)*. Le traitement du jeu de données, le regroupement des séquences en unités taxonomiques opérationnelles (OTUs) et l'assignation taxonomique ont été effectués à l'aide du logiciel Qiime (version 1.9.1) en suivant un ensemble de scripts disponibles sur le site web de Qiime. Les fichiers FASTA et QUAL ont été convertis en fichier FASTQ grâce à la commande « `convert_fastaqual_fastq.py` ». Ensuite, le fichier mapping a été validé grâce à la commande « `validate_mapping_file.py` ». Les

séquences chimériques ont été supprimées de l'analyse grâce à la commande « filter\_fasta.py ». Les séquences ne respectant pas le seuil de qualité minimum de 28 et de taille supérieure à 64 pb ont été exclues. La taille moyenne des séquences restantes était de 300 pb. Ces dernières ont été regroupées en OTUs sur la base de 97 % de similarité entre les séquences. L'assignation des taxons a été réalisée grâce à la base de données *UNITE ITS* (<https://unite.ut.ee/repository.php>). Les OTUs qui n'avaient pas pu être identifiées ont été confrontées à une autre base de données (*BLAST*) disponible sur le site <https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>.

### Traitement des données et analyses statistiques

La diversité de CMA a été évaluée à travers la richesse spécifique (S), l'indice de diversité de Shannon-Weaver (H') et l'indice d'équitabilité de Pielou (J). La richesse spécifique désigne le nombre total d'espèces dans un échantillon de sol. L'indice de diversité de Shannon-Weaver prend en compte à la fois la richesse spécifique et l'abondance de chacune des espèces. Son expression est :

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \cdot \log_2 P_i$$

où  $P_i$  est la proportion de l'espèce «i» par rapport à la population totale,

et S est le nombre total d'espèces.

L'indice de Shannon-Weaver est souvent accompagné de l'indice d'équitabilité de Pielou qui représente le rapport de H' à l'indice maximal théorique dans le peuplement (H'max) :

$$J = \frac{H'}{H'max}$$

Avec  $H'max = \log_2 S$

Cet indice peut varier de 0 à 1 ; il est maximal quand les espèces ont des abondances identiques dans le peuplement et il est minimal quand une seule espèce domine tout le peuplement.

Les variations dans la composition spécifique des CMA en fonction des végétations ont été examinées en utilisant l'indice de complémentarité (C) de Colwell et Coddington (1994) déterminé suivant la formule suivante :

$$C = 1 - \text{indice de similarité de Jaccard}$$

Avec l'indice de similarité de Jaccard =  $\gamma * 100 / (\alpha + \beta + \gamma)$  où  $\alpha$  est le nombre total d'espèces dans la végétation A,  $\beta$  le nombre total d'espèces dans la végétation B et  $\gamma$  le nombre total d'espèces communes aux végétations A et B.

La comparaison des moyennes entre les parcelles de forêt et celles de savane arbustive a été réalisée à l'aide du test *t* de Student. Des tests de corrélation de Pearson (r) ont été utilisés pour déterminer les relations entre : (i) les densités de spores de CMA et les paramètres des litières et du sol et (ii) l'abondance des espèces de CMA et les paramètres chimiques des litières et du sol. Ces tests ont été réalisés avec l'aide du logiciel R (version 4.0.2), au seuil de significativité de 5 %.

## RÉSULTATS

### Masse de litière de feuilles et teneurs en carbone et en nutriments

La masse de la litière des feuilles dans la forêt était de loin plus élevée que celle de la savane arbustive (*tableau 1*). La concentration des litières de feuilles en azote était également plus élevée dans la forêt que dans la savane arbustive. Cependant, les teneurs en carbone et phosphore des litières n'ont pas montré de différence significative entre les deux écosystèmes alors que le rapport C/N était deux fois et demi plus élevé dans la savane arbustive que dans la forêt.

### Fraction fine et caractéristiques chimiques du sol

La teneur en particules fines (argiles + limons fins) était plus élevée dans la forêt que celle obtenue dans la savane arbustive (*tableau 2*). Les teneurs en matière organique (C et N total) et phosphore total étaient également plus élevées dans la forêt. Cependant, le rapport C/N n'a pas montré de différence significative entre les deux écosystèmes. Le pH sol était significativement plus faible en savane arbustive où il était acide, qu'en forêt où il était neutre.

**Tableau 1** : Masse et caractéristiques chimiques des litières de feuilles (moyenne ± erreur standard, n = 4).

**Table 1** : Leaf litter mass and quality parameters of (mean ± standard error, n = 4).

| Végétation       | Masse de litière (kg.ha <sup>-1</sup> ) | C (g.kg <sup>-1</sup> ) | N (g.kg <sup>-1</sup> ) | C:N        | P (g.kg <sup>-1</sup> ) | pH        |
|------------------|---|-------------------------|-------------------------|------------|-------------------------|-----------|
| Forêt            | 4217,5 ± 429,9                          | 334,8 ± 23,9            | 19,2 ± 1,6              | 17,5 ± 0,5 | 3,0 ± 0,1               | 7,2 ± 0,1 |
| Savane arbustive | 44,1 ± 5,1                              | 315,2 ± 34,4            | 8,0 ± 0,9               | 41,4 ± 7,4 | 2,9 ± 0,1               | 6,1 ± 0,0 |
| p                | < 0,001                                 | 0,66                    | < 0,001                 | 0,02       | 0,52                    | < 0,001   |

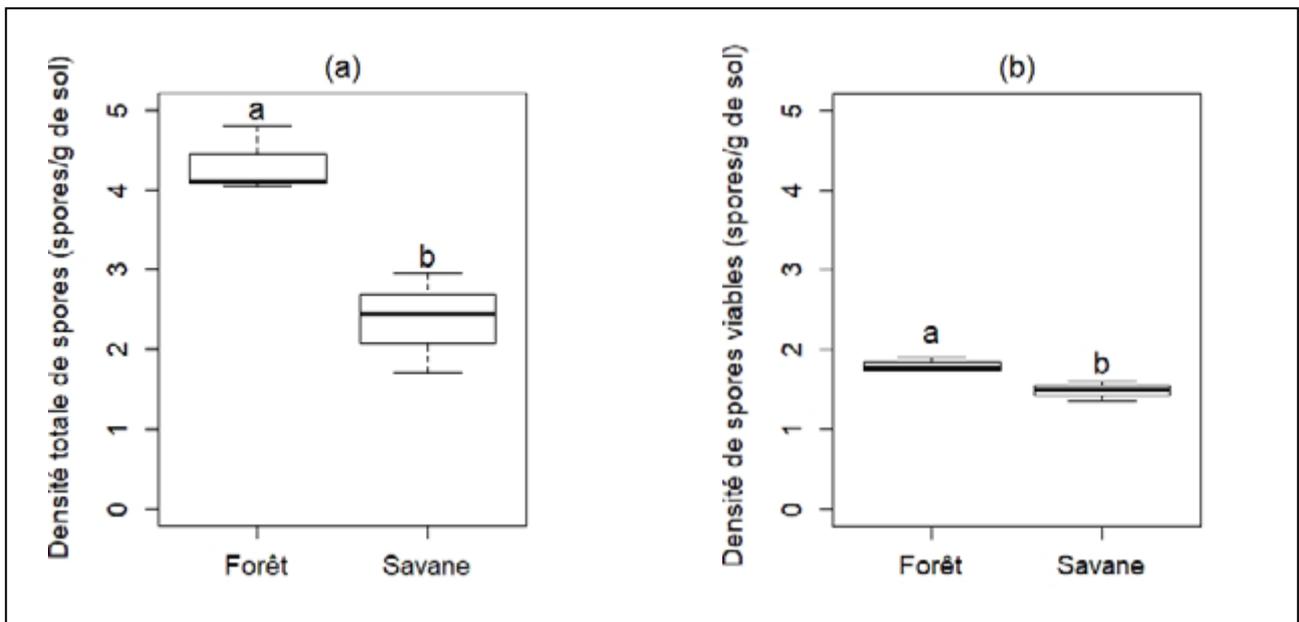
**Tableau 2 :** Caractéristiques physico-chimiques du sol (moyenne  $\pm$  erreur standard,  $n = 4$ ).**Table 2 :** Soil chemical and-physical characteristics (mean  $\pm$  standard error,  $n = 4$ ).

| Végétation       | Arg + Lf       | C (g.kg <sup>-1</sup> ) | N (g.kg <sup>-1</sup> ) | C:N            | P total (mg.kg <sup>-1</sup> ) | pH            |
|------------------|----------------|-------------------------|-------------------------|----------------|--------------------------------|---------------|
| Forêt            | 17,4 $\pm$ 0,6 | 14,2 $\pm$ 0,7          | 1,3 $\pm$ 0,1           | 10,9 $\pm$ 0,5 | 473,6 $\pm$ 17,5               | 7,2 $\pm$ 0,1 |
| Savane arbustive | 11,0 $\pm$ 0,8 | 6,5 $\pm$ 0,9           | 0,5 $\pm$ 0,1           | 12,6 $\pm$ 0,4 | 288,0 $\pm$ 23,2               | 6,1 $\pm$ 0,0 |
| p                | < 0,001        | < 0,001                 | < 0,001                 | 0,06           | < 0,001                        | < 0,001       |

Arg + Lf : Teneur en argiles + limons fins - clay + fine silt content.

**Figure 1 :** Densité des spores de CMA dans les sols de forêt et de savane ( $n = 4$ ). Les barres horizontales épaisses (noire) indiquent les moyennes; les limites supérieures (ou inférieures) des rectangles correspondent aux écart-types et les barres au-dessus (ou en dessous) des rectangles correspondent aux erreurs standards. Les lettres différentes indiquent des différences significatives entre les traitements au seuil de 5 %.

**Figure 1 :** AMF spore density in forest and savanna soils ( $n = 4$ ). Thick horizontal bars (black) show the median; the upper and lower “hinges” correspond to the 25th and 75th percentiles, and whiskers extend from the hinge to the highest (or lowest) value that is within  $1.5 \times$  interquartile range (IQR) of the hinge. Different letters denote significant difference between ecosystems at 0.05 level.



## Abondance des spores de CMA

La densité totale de spores ( $p = 0,001$ ) et de spores viables ( $p = 0,003$ ) de CMA était plus élevée dans les îlots de forêt que dans les îlots de savane arbustive (figure 1).

En revanche, la proportion de spores viables ( $p = 0,03$ ) était plus élevée dans la savane arbustive (figure 2).

Par ailleurs, des corrélations positives ont été observées entre les densités de spores (totale et spores viables) de CMA et la masse et la teneur en azote des litières. Par contre, la proportion des spores viables de CMA était négativement corrélée à la masse et à la teneur en azote des litières (tableau 3).

Au niveau du sol, les densités de spores (totale et spores viables) étaient positivement corrélées à la fraction fine, à

la matière organique (C et N total), à la teneur en phosphore total et au pH. La proportion de spores viables était quant à elle négativement corrélée aux paramètres ci-dessus mais positivement au rapport C/N (tableau 3).

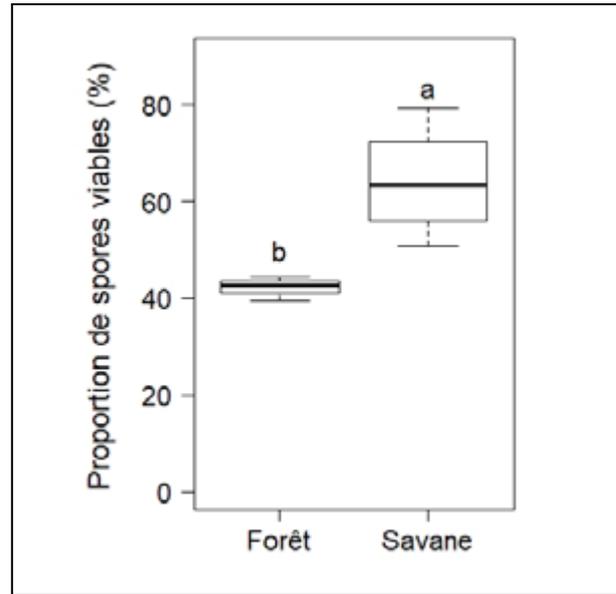
## Diversité des CMA

Le regroupement des séquences a permis d'obtenir un total de 713 OTUs de CMA (tableau 4).

Dans la forêt, le nombre d'OTUs était de 448. Ils appartiennent respectivement aux familles des Glomeraceae (394), Ambisporaceae (25), Claroideoglomeraceae (12), Paraglomeraceae (10), Archaeosporaceae (4), Diversisporaceae (2) et Acaulosporaceae (1). En savane arbustive, il y avait 505 OTUs

**Figure 2 :** Proportions des spores viables de CMA dans les sols de forêt et de savane (n = 4). Les barres horizontales épaisses (noire) indiquent les moyennes; les limites supérieures (ou inférieures) des rectangles correspondent aux écart-types et les barres au-dessus (ou en dessous) des rectangles correspondent aux erreurs standards. Les lettres différentes indiquent des différences significatives entre les traitements au seuil de 5 %.

**Figure 2 :** Proportions of healthy AMF spores in forest and savanna soils (n = 4). Thick horizontal bars (black) show the median; the upper and lower “hinges” correspond to the 25th and 75th percentiles, and whiskers extend from the hinge to the highest (or lowest) value that is within 1.5 × interquartile range (IQR) of the hinge. Different letters denote significant difference between ecosystems at 0.05 level.



**Tableau 3 :** Corrélations de Pearson (r) entre la densité des spores de CMA et les caractéristiques physico-chimiques du système sol-litière. ns: corrélation non-significative; \*, \*\* et \*\*\* indiquent des coefficients de corrélation significatifs aux seuils  $\alpha = 5\%$ ,  $\alpha = 1\%$  et  $\alpha = 0.001\%$ , respectivement.

**Table 3 :** Pearson (r) correlation between AMF spore density and the characteristics of soil and litter. ns: no significant correlation; \*, \*\* and \*\*\* denote significant correlation at 0.05, 0.01 and 0.001 levels, respectively.

| Paramètres de densité des spores | Paramètres de litière de feuilles |        |        |        |        | Paramètres physico-chimiques du sol |        |         |        |         |         |
|----------------------------------|-----------------------------------|--------|--------|--------|--------|-------------------------------------|--------|---------|--------|---------|---------|
|                                  | Biomasse                          | C      | N      | C:N    | P      | Arg + Lf                            | C      | N       | C:N    | P total | pH      |
| Densité totale de spores         | 0,9***                            | 0,3ns  | 0,8*   | -0,6ns | 0,1ns  | 0,9**                               | 0,9**  | 0,8**   | -0,7ns | 0,9**   | 0,9***  |
| Densité de spores viables        | 0,8*                              | 0,1ns  | 0,7*   | -0,6ns | 0,2ns  | 0,8*                                | 0,8**  | 0,8**   | -0,7ns | 0,8*    | 0,9***  |
| Proportion de spores viables     | -0,9***                           | -0,3ns | -0,9** | 0,6ns  | -0,2ns | -0,9**                              | -0,9** | -0,9*** | 0,8*   | -0,9**  | -0,9*** |

Arg + Lf: Teneur en argiles + limons fins - clay + fine silt content.

**Tableau 4 :** Richesse en unités taxonomiques opérationnelles (OTU) dans les deux types de végétation.

**Table 4 :** Operational taxonomic unit (OTU) richness in the two vegetation types.

| Familles de CMA           | Forêt      | Savane arbustive |
|---------------------------|------------|------------------|
| Acaulosporaceae           | 1          | 2                |
| Ambisporaceae             | 25         | 28               |
| Archaeosporaceae          | 4          | 2                |
| Claroideoglomeraceae      | 12         | 24               |
| Diversisporaceae          | 2          | 1                |
| Glomeraceae               | 394        | 438              |
| Paraglomeraceae           | 10         | 10               |
| <b>Nombre total d'OTU</b> | <b>448</b> | <b>505</b>       |

de CMA, appartenant aux mêmes familles : Glomeraceae (438), Ambisporaceae (28), Claroideoglomeraceae (24), Paraglomeraceae (10), Acaulosporaceae (2), Archaeosporaceae (2) et Diversisporaceae (1). Les affiliations taxonomiques des OTUs ont révélé au total 26 espèces de CMA dont, 23 obtenues en forêt et 22 en savane arbustive (tableau 5).

La plupart de ces espèces (19) étaient partagées par les deux écosystèmes. Cependant, certaines étaient inféodées à l'un ou l'autre des écosystèmes. Ainsi, *Acaulospora mellea*, *Claroideoglossum claroideum*, *Glomus macrocarpum* et *Paraglossum majewskii* ont été observées seulement en forêt. Les espèces *Acaulospora* sp, *Ambispora* sp et *G. indicum* étaient rencontrées seulement en savane arbustive. Le genre *Glomus* était le plus représenté, avec une abondance relative moyenne de plus de 75 % (figure 3). *Glomus* sp était l'espèce prédominante, avec une abondance relative variant de 64,5 à 67 %. L'indice de complémentarité (C) entre la forêt et la savane arbustive était de 27 %.

**Tableau 5 :** Liste des espèces de CMA et leurs abondances relatives (%). (-) : indique l'absence de l'espèce.

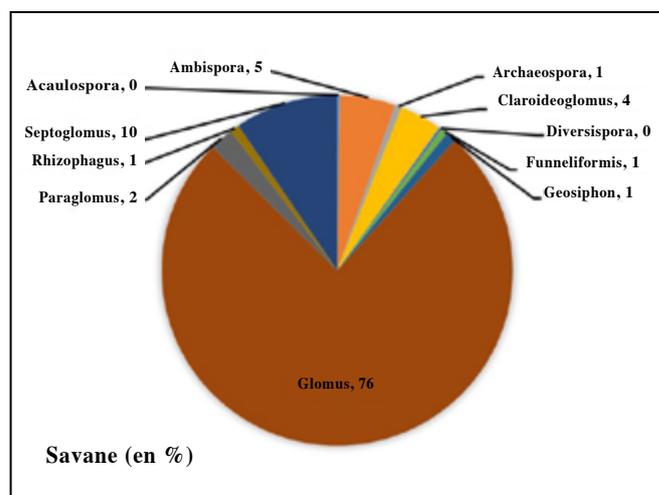
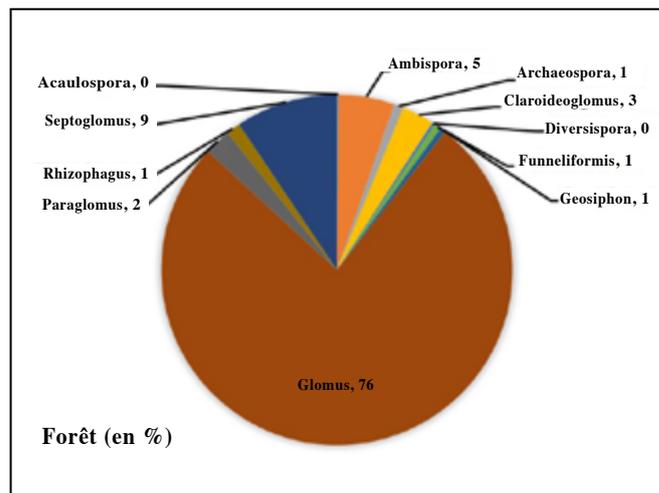
**Table 5 :** List of AMF species and their relative abundances (%). (-) : denote the absent of the species.

| Espèces de CMA                      | Abondance relative (%) |                  |
|-------------------------------------|------------------------|------------------|
|                                     | Forêt                  | Savane arbustive |
| <i>Acaulospora mellea</i>           | 0,13                   | -                |
| <i>Acaulospora sp</i>               | -                      | 0,24             |
| <i>Ambispora fennica</i>            | 1,03                   | 1,34             |
| <i>Ambispora leptoticha</i>         | 4,12                   | 3,66             |
| <i>Ambispora sp</i>                 | -                      | 0,12             |
| <i>Archaeospora schenckii</i>       | 0,64                   | 0,49             |
| <i>Archaeospora trappei</i>         | 0,26                   | 0,12             |
| <i>Claroideoglossum claroideum</i>  | 0,13                   | -                |
| <i>Claroideoglossum etunicatum</i>  | 2,71                   | 3,54             |
| <i>Claroideoglossum lamellosum</i>  | 0,13                   | 0,37             |
| <i>Diversispora spurca</i>          | 0,26                   | 0,24             |
| <i>Funneliformis constrictum</i>    | 0,52                   | 0,49             |
| <i>Funneliformis fragilistratum</i> | 0,13                   | 0,12             |
| <i>Geosiphon pyriformis</i>         | 0,52                   | 0,98             |
| <i>Glomus indicum</i>               | -                      | 0,73             |
| <i>Glomus iranicum</i>              | 4,51                   | 5,00             |
| <i>Glomus macrocarpum</i>           | 0,13                   | -                |
| <i>Glomus proliferum</i>            | 0,90                   | 0,98             |
| <i>Glomus sinuosum</i>              | 3,74                   | 4,51             |
| <i>Glomus sp</i>                    | 67,01                  | 64,51            |
| <i>Paraglossum laccatum</i>         | 0,64                   | 0,61             |
| <i>Paraglossum majewskii</i>        | 0,39                   | -                |
| <i>Paraglossum occultum</i>         | 1,42                   | 1,59             |
| <i>Rhizophagus clarus</i>           | 0,64                   | 0,49             |
| <i>Rhizophagus intraradices</i>     | 0,64                   | 0,37             |
| <i>Septoglossum viscosum</i>        | 9,41                   | 9,51             |
| Nombre d'espèces de CMA             | 23                     | 22               |
| Indice de complémentarité (%)       |                        | 27               |

Les paramètres de diversité (nombre moyen d'espèces et indice de Shannon-Weaver) n'ont pas montré de différences significatives entre les deux écosystèmes (tableau 6). De même, les effectifs des espèces de CMA sont concentrés autour de la moitié des espèces présentes (indice d'équitabilité de Pielou  $\approx 0,5$ ).

**Figure 3 :** Abondance relative (%) des genres de CMA.

**Figure 3 :** Relative abundance (%) of AMF genera.



**Tableau 6 :** Paramètres de diversité de CMA (moyenne  $\pm$  erreur standard,  $n = 4$ ). ns : différence non-significative au seuil de 5 %.

**Table 6 :** AMF diversity parameters (mean  $\pm$  standard error,  $n = 4$ ). ns : no significant different at the 0.05 level.

| Ecosystèmes      | Richesse spécifique | Indice de Shannon-Weaver | Équitabilité de Pielou |
|------------------|---------------------|--------------------------|------------------------|
| Forêt            | 17,0 $\pm$ 0,9      | 2,0 $\pm$ 0,1            | 0,5 $\pm$ 0,0          |
| Savane arbustive | 16,5 $\pm$ 0,5      | 2,1 $\pm$ 0,1            | 0,5 $\pm$ 0,0          |
| p                | 0,65                | 0,06                     | 0,07                   |

## Influence de la litière des feuilles et des caractéristiques physico-chimiques du sol sur les espèces de CMA

L'abondance de sept espèces de CMA est apparue influencée par la composition chimique des litières de feuilles. Il s'agit des espèces *C. etunicatum*, *C. lamellosum*, *G. iranicum*, *G. proliferum*, *P. laccatum*, *P. majewskii* et *Rhizophagus intraradices*. Des corrélations positives ont été observées entre l'abondance de *P. majewskii* et la teneur en azote des litières, et entre l'abondance de *R. intraradices* et la teneur en carbone des litières. Par contre, les abondances des espèces *G. iranicum*, *G. proliferum* et *P. laccatum* étaient négativement corrélées à la teneur en phosphore des litières. De même, les abondances de *C. lamellosum* et *C. etunicatum* sont apparues négativement corrélées respectivement aux teneurs en carbone et en azote des litières (tableau 7).

D'autre part, seules quatre espèces de CMA, *A. fennica*, *C. lamellosum*, *G. indicum* et *P. majewskii*, sont apparues influencées par les caractéristiques physico-chimiques du sol. L'abondance de l'espèce *P. majewskii* était positivement corrélée aux teneurs en Argiles + limons fins, en matière organique (carbone et azote total), en phosphore total et au pH. Des corrélations positives ont également été observées entre les abondances des espèces *A. fennica* et *C. lamellosum* et le rapport C/N. Par contre, des corrélations négatives ont été observées entre l'abondance de *C. lamellosum* et la teneur en azote total, et entre l'abondance de *P. majewskii* et le rapport C/N du sol. De même, l'abondance de *G. indicum* était corrélée négativement aux teneurs en Argiles + limons fins, en matière organique (carbone et azote total), en phosphore total et au pH (tableau 7).

Les espèces *Claroideoglossum lamellosum* et *P. majewskii* étaient les seules à avoir montré des corrélations significatives à la fois avec la qualité chimique des litières et les caractéristiques physico-chimiques du sol.

## DISCUSSION

La densité totale de spores et la densité de spores viables de CMA dans la forêt sont apparues plus élevées que celles mesurées dans la savane arbustive. Ces résultats s'expliquent aussi bien par les caractéristiques des litières, notamment la biomasse et la teneur en azote que par les caractéristiques physico-chimiques du sol considérées dans cette étude. C'est le cas du pH du sol qui est reconnu pour être un facteur essentiel de la dynamique des CMA (Tchabi *et al.*, 2008; Oehl *et al.*, 2010). Les teneurs du sol en carbone organique et en azote total sont apparues comme des facteurs influençant positivement l'abondance des spores de CMA comme l'ont montré d'autres études antérieures (Muchane *et al.*, 2012; Hu *et al.*, 2013).

Considérant que le rôle majeur des CMA se situe pour la plante au niveau de la mobilisation d'éléments nutritifs, notamment le phosphore (Leye *et al.*, 2015), l'on pouvait s'attendre à une influence négative de la teneur du sol en phosphore sur l'abondance des spores (Datta et Kulkarni, 2012). Cela ne fut cependant pas le cas dans la présente étude. Cette corrélation négative a probablement été masquée par l'influence positive des teneurs du sol en carbone et en azote, ainsi que celle des particules fines (argiles et limons fins). Cette tendance a également été rapportée par Bossou *et al.* (2019) au Bénin.

Par ailleurs, les faibles densités de spores enregistrées dans la savane arbustive pourraient en partie s'expliquer par le passage au moins occasionnel des feux de brousses (N'Dri *et al.*, 2018) qui peuvent avoir des conséquences néfastes sur le développement des communautés de CMA (Dove et Hart, 2017). En effet, ces feux, en plus de détruire directement les CMA, entraînent une réduction substantielle du stock de litière et donc de matière organique, et la réduction de la capacité de rétention en eau du sol, impactant ainsi négativement le développement des CMA (Dove et Hart, 2017). Autant la litière et la matière organique du sol sont favorables au développement des CMA, autant elles le sont encore davantage pour le développement d'organismes saprophytes tels que les champignons endophytes du genre *Neotyphodium*. Ces saprophytes parasitent les spores de CMA (Antunes *et al.*, 2008) pour leurs réserves lipidiques (Purin et Rillig, 2008). Ainsi, à un certain niveau, les litières peuvent entraîner la dégradation des spores (Klironomos *et al.*, 1999). Leur présence en faible quantité en savane arbustive pourrait donc expliquer le pourcentage plus élevé des spores viables dans cet écosystème (corrélation négative).

Dans la zone étudiée, les onze genres de CMA adoptés par la communauté scientifique (Redecker *et al.*, 2013) étaient présents. Comme habituellement rapporté, les sols dans les deux écosystèmes hébergeaient des communautés de CMA dominées par le genre *Glomus* (Jefwa *et al.*, 2012; Nandjui *et al.*, 2013; Barnes *et al.*, 2016; Soka et Ritchie, 2018). Le genre *Glomus* et plus généralement la famille des Glomeraceae représentent des symbiotes généralistes qui peuvent coloniser une grande diversité de plantes hôtes et sont largement distribués dans le monde (Öpik *et al.*, 2010).

À l'instar de l'abondance des spores, l'abondance des espèces de CMA est apparue impactée par les caractéristiques physico-chimiques du sol et de la litière. Du fait de l'influence de ces facteurs physico-chimiques discriminants entre les deux écosystèmes, certaines espèces de CMA ont été rencontrées uniquement en forêt, ce fut le cas de *P. majewskii*, ou uniquement en savane arbustive, notamment pour l'espèce *G. indicum*. L'influence du pH du sol s'est avérée déterminante comme rapporté antérieurement (Nandjui *et al.*, 2013; Jansa *et al.*, 2014; Alguacil *et al.*, 2016). En somme, les corrélations entre les caractéristiques physico-chimiques du sol et les CMA ont été observées pour quatre espèces : *A. fennica*, *C. lamellosum*,

**Tableau 7 :** Corrélations de Pearson (r) entre l'abondance des espèces de CMA et les caractéristiques physico-chimiques du système sol-litière. ns : corrélation non-significative ; \* et \*\* indiquent des coefficients de corrélation significatifs aux seuils  $\alpha = 5\%$  et  $\alpha = 1\%$ , respectivement.

**Table 7 :** Pearson (r) correlation between AMF species abundance and the characteristics of soil and litter. ns : no significant correlation ; \* and \*\* denote the significant correlation coefficients at 0.05 and 0.01 levels, respectively.

| Espèces de CMA                      | Paramètres chimiques des litières |                     |                     |                      | Paramètres physico-chimiques du sol |                    |                     |                     |                     |                     |
|-------------------------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|----------------------|-------------------------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|                                     | C                                 | N                   | C:N                 | P                    | Arg + Lf                            | C                  | N                   | C:N                 | P total             | pH                  |
| <i>Acaulospora mellea</i>           | -0,2 <sup>ns</sup>                | 0,3 <sup>ns</sup>   | -0,3 <sup>ns</sup>  | 0,4 <sup>ns</sup>    | 0,4 <sup>ns</sup>                   | 0,4 <sup>ns</sup>  | 0,5 <sup>ns</sup>   | -0,5 <sup>ns</sup>  | 0,4 <sup>ns</sup>   | 0,5 <sup>ns</sup>   |
| <i>Acaulospora</i> sp               | -0,2 <sup>ns</sup>                | -0,4 <sup>ns</sup>  | 0,4 <sup>ns</sup>   | -0,4 <sup>ns</sup>   | -0,4 <sup>ns</sup>                  | -0,4 <sup>ns</sup> | -0,4 <sup>ns</sup>  | 0,1 <sup>ns</sup>   | -0,4 <sup>ns</sup>  | -0,3 <sup>ns</sup>  |
| <i>Ambispora fennica</i>            | -0,05 <sup>ns</sup>               | -0,7 <sup>ns</sup>  | 0,6 <sup>ns</sup>   | -0,2 <sup>ns</sup>   | -0,4 <sup>ns</sup>                  | -0,4 <sup>ns</sup> | -0,5 <sup>ns</sup>  | 0,8*                | -0,4 <sup>ns</sup>  | -0,5 <sup>ns</sup>  |
| <i>Ambispora leptoticha</i>         | 0,4 <sup>ns</sup>                 | 0,03 <sup>ns</sup>  | 0,3 <sup>ns</sup>   | -0,6 <sup>ns</sup>   | 0,3 <sup>ns</sup>                   | 0,3 <sup>ns</sup>  | 0,3 <sup>ns</sup>   | -0,4 <sup>ns</sup>  | 0,3 <sup>ns</sup>   | 0,2 <sup>ns</sup>   |
| <i>Ambispora</i> sp                 | -0,2 <sup>ns</sup>                | -0,4 <sup>ns</sup>  | 0,4 <sup>ns</sup>   | -0,4 <sup>ns</sup>   | -0,4 <sup>ns</sup>                  | -0,4 <sup>ns</sup> | -0,4 <sup>ns</sup>  | 0,1 <sup>ns</sup>   | -0,4 <sup>ns</sup>  | -0,3 <sup>ns</sup>  |
| <i>Archaeospora schenckii</i>       | -0,2 <sup>ns</sup>                | 0,2 <sup>ns</sup>   | -0,3 <sup>ns</sup>  | 0,4 <sup>ns</sup>    | 0,4 <sup>ns</sup>                   | 0,4 <sup>ns</sup>  | 0,5 <sup>ns</sup>   | -0,5 <sup>ns</sup>  | 0,4 <sup>ns</sup>   | 0,5 <sup>ns</sup>   |
| <i>Archaeospora trappei</i>         | 0,1 <sup>ns</sup>                 | 0,2 <sup>ns</sup>   | -0,1 <sup>ns</sup>  | -0,1 <sup>ns</sup>   | 0,3 <sup>ns</sup>                   | 0,3 <sup>ns</sup>  | 0,2 <sup>ns</sup>   | 0,03 <sup>ns</sup>  | 0,3 <sup>ns</sup>   | 0,3 <sup>ns</sup>   |
| <i>Claroideoglossum claroideum</i>  | 0,6 <sup>ns</sup>                 | 0,6 <sup>ns</sup>   | -0,3 <sup>ns</sup>  | 0,1 <sup>ns</sup>    | 0,5 <sup>ns</sup>                   | 0,5 <sup>ns</sup>  | 0,5 <sup>ns</sup>   | -0,3 <sup>ns</sup>  | 0,5 <sup>ns</sup>   | 0,3 <sup>ns</sup>   |
| <i>Claroideoglossum etunicatum</i>  | -0,2 <sup>ns</sup>                | -0,7*               | 0,7 <sup>ns</sup>   | -0,6 <sup>ns</sup>   | -0,7 <sup>ns</sup>                  | -0,7 <sup>ns</sup> | -0,6 <sup>ns</sup>  | 0,3 <sup>ns</sup>   | -0,7 <sup>ns</sup>  | -0,7 <sup>ns</sup>  |
| <i>Claroideoglossum lamellosum</i>  | -0,7*                             | -0,6 <sup>ns</sup>  | 0,1 <sup>ns</sup>   | 0,3 <sup>ns</sup>    | -0,6 <sup>ns</sup>                  | -0,7 <sup>ns</sup> | -0,7*               | 0,7*                | -0,6 <sup>ns</sup>  | -0,5 <sup>ns</sup>  |
| <i>Diversispora spurca</i>          | 0,7 <sup>ns</sup>                 | 0,2 <sup>ns</sup>   | 0,1 <sup>ns</sup>   | -0,2 <sup>ns</sup>   | 0,3 <sup>ns</sup>                   | 0,3 <sup>ns</sup>  | 0,2 <sup>ns</sup>   | 0,1 <sup>ns</sup>   | 0,3 <sup>ns</sup>   | -0,1 <sup>ns</sup>  |
| <i>Funneliformis constrictum</i>    | -0,5 <sup>ns</sup>                | 0,04 <sup>ns</sup>  | -0,4 <sup>ns</sup>  | 0,7 <sup>ns</sup>    | -0,3 <sup>ns</sup>                  | -0,3 <sup>ns</sup> | -0,05 <sup>ns</sup> | -0,3 <sup>ns</sup>  | -0,3 <sup>ns</sup>  | 0,3 <sup>ns</sup>   |
| <i>Funneliformis fragilistratum</i> | 0,1 <sup>ns</sup>                 | 0,3 <sup>ns</sup>   | -0,3 <sup>ns</sup>  | 0,5 <sup>ns</sup>    | -0,05 <sup>ns</sup>                 | -0,3 <sup>ns</sup> | -0,01 <sup>ns</sup> | -0,1 <sup>ns</sup>  | -0,05 <sup>ns</sup> | -0,02 <sup>ns</sup> |
| <i>Geosiphon pyriformis</i>         | 0,05 <sup>ns</sup>                | -0,4 <sup>ns</sup>  | 0,4 <sup>ns</sup>   | 0,2 <sup>ns</sup>    | -0,4 <sup>ns</sup>                  | -0,4 <sup>ns</sup> | -0,5 <sup>ns</sup>  | 0,6 <sup>ns</sup>   | -0,4 <sup>ns</sup>  | -0,5 <sup>ns</sup>  |
| <i>Glomus indicum</i>               | -0,4 <sup>ns</sup>                | -0,5 <sup>ns</sup>  | 0,2 <sup>ns</sup>   | 0,3 <sup>ns</sup>    | -0,8*                               | -0,8*              | -0,7*               | 0,6 <sup>ns</sup>   | -0,8*               | -0,7*               |
| <i>Glomus iranicum</i>              | 0,2 <sup>ns</sup>                 | -0,4 <sup>ns</sup>  | 0,6 <sup>ns</sup>   | -0,8*                | -0,3 <sup>ns</sup>                  | -0,3 <sup>ns</sup> | -0,3 <sup>ns</sup>  | 0,4 <sup>ns</sup>   | -0,3 <sup>ns</sup>  | -0,4 <sup>ns</sup>  |
| <i>Glomus macrocarpum</i>           | -0,2 <sup>ns</sup>                | 0,1 <sup>ns</sup>   | -0,3 <sup>ns</sup>  | 0,2 <sup>ns</sup>    | 0,3 <sup>ns</sup>                   | 0,3 <sup>ns</sup>  | 0,1 <sup>ns</sup>   | 0,2 <sup>ns</sup>   | 0,3 <sup>ns</sup>   | 0,4 <sup>ns</sup>   |
| <i>Glomus proliferum</i>            | 0,3 <sup>ns</sup>                 | -0,1 <sup>ns</sup>  | 0,3 <sup>ns</sup>   | -0,8*                | -0,1 <sup>ns</sup>                  | -0,1 <sup>ns</sup> | -0,05 <sup>ns</sup> | -0,1 <sup>ns</sup>  | -0,1 <sup>ns</sup>  | -0,2 <sup>ns</sup>  |
| <i>Glomus sinuosum</i>              | 0,2 <sup>ns</sup>                 | -0,5 <sup>ns</sup>  | 0,6 <sup>ns</sup>   | -0,2 <sup>ns</sup>   | -0,5 <sup>ns</sup>                  | -0,5 <sup>ns</sup> | -0,4 <sup>ns</sup>  | -0,02 <sup>ns</sup> | -0,5 <sup>ns</sup>  | -0,6 <sup>ns</sup>  |
| <i>Glomus</i> sp                    | 0,3 <sup>ns</sup>                 | 0,1 <sup>ns</sup>   | 0,05 <sup>ns</sup>  | -0,1 <sup>ns</sup>   | -0,2 <sup>ns</sup>                  | -0,2 <sup>ns</sup> | -0,2 <sup>ns</sup>  | -0,1 <sup>ns</sup>  | -0,2 <sup>ns</sup>  | -0,1 <sup>ns</sup>  |
| <i>Paraglomus laccatum</i>          | 0,6 <sup>ns</sup>                 | -0,01 <sup>ns</sup> | 0,4 <sup>ns</sup>   | -0,7*                | 0,05 <sup>ns</sup>                  | 0,06 <sup>ns</sup> | 0,1 <sup>ns</sup>   | -0,3 <sup>ns</sup>  | 0,05 <sup>ns</sup>  | -0,1 <sup>ns</sup>  |
| <i>Paraglomus majewskii</i>         | 0,3 <sup>ns</sup>                 | 0,9**               | -0,6 <sup>ns</sup>  | 0,1 <sup>ns</sup>    | 0,8*                                | 0,8*               | 0,9**               | -0,9**              | 0,8*                | 0,7*                |
| <i>Paraglomus occultum</i>          | 0,2 <sup>ns</sup>                 | -0,3 <sup>ns</sup>  | 0,4 <sup>ns</sup>   | -0,3 <sup>ns</sup>   | -0,2 <sup>ns</sup>                  | -0,2 <sup>ns</sup> | -0,3 <sup>ns</sup>  | 0,4 <sup>ns</sup>   | -0,2 <sup>ns</sup>  | -0,2 <sup>ns</sup>  |
| <i>Rhizophagus clarus</i>           | 0,6 <sup>ns</sup>                 | 0,6 <sup>ns</sup>   | -0,3 <sup>ns</sup>  | 0,1 <sup>ns</sup>    | 0,5 <sup>ns</sup>                   | 0,5 <sup>ns</sup>  | 0,5 <sup>ns</sup>   | -0,3 <sup>ns</sup>  | 0,5 <sup>ns</sup>   | 0,3 <sup>ns</sup>   |
| <i>Rhizophagus intraradices</i>     | 0,8*                              | 0,4 <sup>ns</sup>   | -0,02 <sup>ns</sup> | -0,4 <sup>ns</sup>   | 0,3 <sup>ns</sup>                   | 0,3 <sup>ns</sup>  | 0,3 <sup>ns</sup>   | -0,4 <sup>ns</sup>  | 0,3 <sup>ns</sup>   | 0,2 <sup>ns</sup>   |
| <i>Septoglossum viscosum</i>        | -0,1 <sup>ns</sup>                | -0,05 <sup>ns</sup> | 0,01 <sup>ns</sup>  | -0,003 <sup>ns</sup> | -0,4 <sup>ns</sup>                  | -0,4 <sup>ns</sup> | -0,3 <sup>ns</sup>  | -0,3 <sup>ns</sup>  | -0,4 <sup>ns</sup>  | -0,2 <sup>ns</sup>  |

Arg + Lf: Teneur en argiles + limons fins - clay + fine silt content.

*G. indicum* et *P. majewskii*. Les corrélations entre la qualité des litières et les CMA ont été observées chez un nombre plus élevé d'espèces : *C. etunicatum*, *G. iranicum*, *G. proliferum*, *P. laccatum* et *R. intraradices* outre *C. lamellosum* et *P. majewskii*. Il est opportun de rappeler que la relation entre les caractéristiques chimiques des litières et les CMA est indirecte car ces dernières influencent d'abord le sol (après décomposition), qui à son tour influence les CMA avec lesquelles il est en contact direct. Dès lors, les liens entre sol et CMA apparaissent plus pertinents dans l'explication de la distribution de ces espèces.

Dans l'ensemble, 26 espèces de CMA appartenant à 11 genres ont été identifiées dans cet écotone forêt-savane située au Centre de la Côte d'Ivoire. Cette richesse spécifique est largement supérieure à celle (9) trouvée dans la savane du parc national de Serengeti en Tanzanie par Soka et Ritchie (2018). Cette différence en faveur de la présente étude pourrait en partie s'expliquer par l'identification des espèces de CMA par voie biomoléculaire, hautement plus précise (Redecker *et al.*, 1997). L'identification sur la base de la morphologie des spores peut s'avérer peu efficace dans la mesure où certaines espèces présentent plusieurs morphotypes de spores (Sanders *et al.*, 1995).

## CONCLUSION

En considérant le fait que les deux écosystèmes étudiés sont contrastés (tant au niveau de la flore que du sol), l'on pouvait s'attendre plus logiquement à ce qu'ils hébergent des communautés de CMA très différentes (effet couverture végétale). Cependant, la forêt et la savane arbustive présentaient sensiblement la même richesse spécifique, la même diversité de Shannon-Weaver et la même répartition des effectifs de CMA, lesquels étaient concentrés autour de la moitié des espèces présentes. En revanche, ces deux écosystèmes se distinguaient en termes de composition spécifique (27 % de dissimilarité). Sur les 26 espèces identifiées, neuf, soit 35 %, étaient significativement corrélées aux caractéristiques physico-chimiques du système sol-litière, avec trois espèces spécifiques à la savane arbustive et quatre à la forêt. D'autres études, intégrant les composés biochimiques sécrétés par les plantes et connus pour influencer les CMA, devraient être conduites ultérieurement pour renforcer l'explication de la répartition des CMA dans les différents faciès de végétation dans le Centre de la Côte d'Ivoire.

## REMERCIEMENTS

Cette étude a été cofinancée par la Fondation Internationale pour la Science (IFS, Bourse N°C 5143) et les programmes PPR-SREC et JEAI (IE-PRODIGE) de l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD).

## BIBLIOGRAPHIE

- Alguacil M.D.M., Torres M.P., Montesinos-Navarro A. et Roldán A., 2016 - Soil characteristics driving arbuscular mycorrhizal fungal communities in semiarid Mediterranean soils. *Applied and Environmental Microbiology*, 82, pp. 3348-3356.
- Anderson J.M. et Ingram J.S.I., 1993 - *Tropical Soil Biology and Fertility. A Handbook of Methods*. CAB International, 221 p.
- Antunes P.M., Miller J., Carvalho L.M., Klironomos J.N. et Newman J.A., 2008 - Even after death the endophytic fungus of *Schedonorus phoenix* reduces the arbuscular mycorrhizas of other plants. *Functional Ecology*, 22, pp. 912-918.
- Barnes C.J., Maldonado C., Froslev T.G., Antonelli A. et Rønsted N., 2016 - Unexpectedly high beta-diversity of root-associated fungal communities in the Bolivian Andes. *Frontiers in Microbiology*, 7, pp. 1-13.
- Beltrano J., Ruscitti M., Arango M.C. et Ronco M., 2013 - Effects of arbuscular mycorrhiza inoculation on plant growth, biological and physiological parameters and mineral nutrition in pepper grown under different salinity and P levels. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 13, pp. 123-141.
- Bossou L.D.R., Hounngandan H.B., Adandonon A., Zoundji C. et Hounngandan P., 2019 - Diversité des champignons mycorhiziens arbusculaires associés à la culture du maïs (*Zea mays* L.) au Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 13, pp. 597-609.
- Colwell R.K. et Coddington J.A., 1994 - Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. *Phil. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 345, pp. 101-118.
- Datta P. et Kulkarni M., 2012 - Arbuscular mycorrhizal fungal diversity in sugarcane rhizosphere in relation with soil properties. *Notulae Scientia Biologicae*, 4, pp. 66-74.
- Dove N.C. et Hart S.C., 2017 - Fire reduces fungal species richness and in situ mycorrhizal colonization : a meta-analysis. *Fire Ecology*, 13, pp. 37-65.
- Feller C., 1995 - La matière organique du sol : un indicateur de la fertilité. Application aux zones sahélienne et soudanienne. *Agriculture et Développement*, 8, pp. 35-41.
- Fotso B., Nandjui J., Voko B.D.R.R., Amoah J.A., Brou Y.C. et Niemenak N., 2019 - Native arbuscular mycorrhizal fungi increased resistance of two plantain varieties (*Fhia 21* and *Orishele*), under water deficit conditions in Cote d'Ivoire. *Microbiology and Nature*, 1, pp. 16-28.
- Francioli D., van Rijssel S.Q., van Ruijven J., Termorshuizen A.J., Cotton T.E.A., Dumbrell A.J., Raaijmakers J.M., Weigelt A. et Mommer L., 2020 - Plant functional group drives the community structure of saprophytic fungi in a grassland biodiversity experiment. *Plant and Soil*, 447, pp. 9-23.
- Gerdemann J.W. et Nicolson T.H., 1963 - Spores of endogone species from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society*, 46, pp. 235-244.
- Hu Y., Rillig M.C., Xiang D., Hao Z. et Chen B., 2013 - Changes of AM fungal abundance along environmental gradients in the arid and semi-arid grasslands of Northern China. *PLoS ONE*, 8, e57593.
- Huang S.P. et Cares J.E., 2004 - Nematodes. In: Anonyme (eds) *Échantillonnage (Méthodes)*, Restitution du séminaire d'Embu, 23-27 février 2004, Kenya, 7 p.

- INVAM, 2018. International culture collection of VA Mycorrhizal fungi, consulté le 13 septembre 2018. <http://www.invam.caf.wvu.edu>.
- Jansa J., Erb A., Oberholzer, H.R., Šmilauer P. et Egli S., 2014 - Soil and geography are more important determinants of indigenous arbuscular mycorrhizal communities than management practices in Swiss agricultural soils. *Molecular Ecology*, 23, pp. 2118-2135.
- Jefwa J.M., Okoth S., Wachira P., Karanja N., Kahindi J., Njuguni S. et Huising J., 2012 - Impact of land use types and farming practices on occurrence of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) Taita-Taveta district in Kenya. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 157, pp. 32-39.
- Klironomos J.N., Bednarczuk E.M. et Neville J., 1999 - Reproductive significance of feeding on saprophytic and arbuscular mycorrhizal fungi by the collembolan, *Folsomia candida*. *Functional Ecology*, 13, pp. 756-761.
- Koné A.W., Tondoh E.J., Bernhard-Reversat F., Loranger-Merciris G., Brunet D. et Tano Y., 2008 - Changes in soil biological quality under legume- and maize-based farming systems in a humid savanna of Côte d'Ivoire. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*, 12, pp. 147-155.
- Koné A.W., Edoukou E.F., Gonnety J.T., N'Dri A.N.A., Assémien L.F.E., Angui P.K.T. et Tondoh J.E., 2012 - Can the shrub *Chromolaena odorata* (Asteraceae) be considered as improving soil biology and plant nutrient availability? *Agroforestry Systems*, 85, pp. 233-245.
- Koné A.W. Kassin E.K., Ettien J.B.D., Konaté Z. et Gnahoua G.M., 2020 - Le carbone des sols des zones de forêt et de savane humide de Côte d'Ivoire : Impacts de *Chromolaena odorata* et des légumineuses. In: Chevallier T., Razafimbelo T. et Brossard M. (eds) *Carbone des sols en Afrique*, Marseille, France, pp. 191-208.
- Kouadio A.N.M.S., Nandjui J., Krou S.M., Séry D.J.M., Nelson P.N. et Zézé A., 2017 - A native arbuscular mycorrhizal fungus inoculant outcompetes an exotic commercial species under two contrasting yam field conditions. *Rhizosphere*, 4, pp. 112-118.
- Leye E.H.M., N'diaye M., Diouf M. et Diop T., 2015 - 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, pp. 211-219.
- Lounès-Hadj A.S., 2013 - La Mycorhize a arbuscules : quels bénéfices pour l'homme et son environnement dans un contexte de développement durable? *Revue des Sciences et de la Technologie*, 26, pp. 6-19.
- Muchane M.N., Muchane M., Mugoya C. et Masiga C.W., 2012 - Effect of land use system on Arbuscular Mycorrhiza fungi in Maasai Mara ecosystem, Kenya. *African Journal of Microbiology Research*, 6, pp. 3904-3916.
- Murphy J. et Riley J.P., 1962 - A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytical Chemistry Acta*, 27, pp. 31-36.
- Nandjui J., Voko D.R.R., Kouadio A.N.M.S., Fotso B., Tano Y. et Zézé A., 2013 - Assessment of the occurrence and abundance of mycorrhizal fungal communities in soils from yam (*Dioscorea* spp) cropping fields in Dabakala, North Côte d'Ivoire. *African Journal of Agricultural Research*, 8, pp. 5572-5584.
- N'Dri A.B., Soro T.D., Gignoux J., Dosso K., Koné M., N'Dri J.K., Koné N.A. et Barot S., 2018 - Season affects fire behavior in annually burned humid savanna of West Africa. *Fire Ecology*, 14, 5.
- Oehl F., Laczko E., Bogenrieder A., Stahr K., Bösch R., van der Heijden M. et Sieverding E., 2010 - Soil type and land use intensity determine the composition of arbuscular mycorrhizal fungal communities. *Soil Biology and Biochemistry*, 42, pp. 724-738.
- Öpik M., Vanatoa A., Vanatoa E., Moora M., Davison J., Kalwij J.M. et Zobel M., 2010 - The online database MaarjAM reveals global and ecosystemic distribution patterns in arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota). *New Phytologist*, 188, pp. 223-241.
- Ouattara B., Abo K., Tuo S., Bolou Bi B.A., Chérif M. et Koné D., 2019 - Arbuscular mycorrhizal symbiosis decreases Sclerotinia caused by *Sclerotium rolfsii* Sacc. in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Plant Pathology Journal*, 18, pp. 22-30.
- Purin S. et Rillig M.C., 2008 - Parasitism of arbuscular mycorrhizal fungi : reviewing the evidence. *FEMS Microbiological Letters*, 279, pp. 8-14.
- Redecker D., Thierfelder H., Walker C. et Werner D., 1997 - Restriction analysis of PCR-amplified internal transcribed spacers of ribosomal DNA as a tool for species identification in different genera of the order Glomales. *Applied Environmental Microbiology*, 63, pp. 1756-1761.
- Redecker D., Schüßler A., Stockinger H., Stürmer S.L., Morton J.B. et Walker C., 2013 - An evidence-based consensus for the classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota). *Mycorrhiza*, 23, pp. 515-531.
- Sanders I.R., Alt M., Groppe K., Boller T. et Wiemken A., 1995 - Identification of ribosomal DNA polymorphisms among and within spores of the Glomales : application to studies on the genetic diversity of arbuscular mycorrhizal fungal communities. *New Phytologist*, 130, pp. 419-427.
- Séry D.J.M., Kouadjo Z.G.C., Voko B.R.R. et Zézé A., 2016 - Selecting Native Arbuscular Mycorrhizal Fungi to Promote Cassava Growth and Increase Yield under Field Conditions. *Frontiers in Microbiology*, 7, 2063.
- Shi A.D., Li Q., Huang J.G. et Yuan L., 2013 - Influence of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on growth, mineral nutrition and chlorogenic acid content of *Lonicera confusa* seedlings under field conditions. *Pedosphere*, 23, pp. 333-339.
- Smith S.E., Gianinazzi-Pearson V., Koide R. & Cairney J.W.G., 1993 - Nutrient transport in mycorrhizas: structure, physiology and consequences for efficiency of the symbiosis. *Plant Soil*, 159, pp. 103-113.
- Smith S.E. et Smith F.A., 2011 - Roles of Arbuscular Mycorrhizas in Plant Nutrition and Growth: New Paradigms from Cellular to Ecosystem Scales. *Annual Review of Plant Biology*, 62, pp. 227-250.
- Soka G.E. et Ritchie M.E., 2018 - Arbuscular mycorrhizal spore composition and diversity associated with different land uses in a tropical savanna landscape, Tanzania. *Applied Soil Ecology*, 125, pp. 222-232.
- Soro Y., N'Dri A.B., Bakayoko A. et Gignoux J., 2018 - Analyse de la végétation dans un écotone forêt-savane d'Afrique de l'Ouest dans un contexte de boisement des savanes. *Revue de l'Environnement et de la Biodiversité-PASRES*, 3, pp. 54-72.
- Tchabi A., Coyne D., Hountondji F., Lawouin L., Wiemken A. et Oehl F., 2008 - Arbuscular mycorrhizal fungal communities in sub-Saharan savannas of Benin, West Africa, as affected by agricultural land use intensity and ecological zone. *Mycorrhiza*, 18, pp. 181-195.
- Tchabi A., Hountondji F., Ogunsola B., Lawouin L., Coyne D., Wiemken A. et Oehl F., 2016 - Effect of two species of arbuscular mycorrhizal fungi inoculation on development of micro-propagated yam plantlets and suppression of *Scutellonema bradys* (Tylenchidae). *Journal of Entomology and Nematology*, 8, pp. 1-10.
- Tiémo D.T., Yoroba F., Diawara A., Kouadio K., Kouassi B.K. et Yapo A.L.M., 2020 - Understanding the local carbon fluxes variations and their relationship to climate conditions in a Sub-Humid Savannah-Ecosystem during 2008-2015 : Case of Lamto in Cote d'Ivoire. *Atmospheric and Climate Sciences*, 10, pp. 186-205.
- Wang X.Y., Ge Y. et Wang J., 2017 - Positive effects of plant diversity on soil microbial biomass and activity are associated with more root biomass production. *Journal of Plant Interactions*, 12, pp. 533-541.
- Zézé A., Ouattara B., Brou C.Y., Van Tuinen D., Diallo-Attah H. et Sangaré A., 2007 - Distribution et abondance de spores de champignons endomycorrhizogènes à arbuscules dans différents types de forêts de la Téné en Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine*, 19, pp. 103-111.