



Journal Homepage: -[www.journalijar.com](http://www.journalijar.com)

## INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED RESEARCH (IJAR)

Article DOI:10.21474/IJAR01/18022  
DOI URL: <http://dx.doi.org/10.21474/IJAR01/18022>



### RESEARCH ARTICLE

#### EFFET DE L'ORPAILLAGE SUR L'ABONDANCE ET LA DIVERSITÉ DES ESPÈCES DE CHAMPIGNONS MYCORHIZIENS ARBUSCULAIRES DANS LA RÉGION CENTRALE DU TOGO

Latifou Tchassanti<sup>1</sup>, Atti Tchabi<sup>1</sup>, Pana Kadanga<sup>1</sup> and Batawila Komlan<sup>2</sup>

1. Laboratoire des Sciences Agronomiques et Biologiques Appliquées, Institut Supérieur des Métiers de l'Agriculture, Université de Kara, BP 404 Kara, Togo.
2. Laboratoire de Botanique et Écologie Végétale, Faculté des Sciences, Université de Lomé, BP 1515, Lomé, Togo.

#### Manuscript Info

##### Manuscript History

Received: 20 October 2023

Final Accepted: 24 November 2023

Published: December 2023

##### Key words:-

Gold Mining, Abundance, Diversity,  
AMF, Central-Togo

#### Abstract

Gold mining has a negative impact on the soil include microorganisms such as Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF). The AMF form associations with plants by improving their development. However, the effect of gold mining on Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) living in its soils is poorly understood. The objective of this study was to characterize the effect of gold mining on the abundance and diversity of AMF species in the Central region of Togo. The AMF were extracted by wet sieving from 200g of soil samples taken directly from four types of soil, Gold Soil (SA), Washed Gold Soil (SAL), Soil Under Corn Cultivation (SSCM) and the Soil Under Natural Vegetation (SSVN). The diversity of AMF was determined by diversity indices. The results showed that SA, SSCM and SSVN had significantly higher AMF fungal spores densities ( $p < 0.05$ ) than SAL. AMF species richness was generally lower in SAL (12 species out of a total of 30 species identified). A total of 30 AMF species classified into 16 genera, in 9 families (Acaulosporaceae, Ambisporaceae, Archaeosporaceae, Gigasporaceae, Claroideoglomeraceae, Dentiscutataceae, Diversisporaceae, Glomeraceae, Paraglomeraceae) were identified. The most frequent species were *Acaulosporascorbiculata*, *Acaulospora* sp., *Entrophosporainfrequens*, *Gigaspora gigantea*, *Claroideoglomusetunicatum*. The most abundant species were *Acaulosporascorbiculata*, *Acaulosporasp.*, *Entrophosporainfrequens*, *Claroideoglomusetunicatum*, *Glomus clavisorum*, and *Rhizophagusintraradices*. The biological diversity indices (Shannon and Pielou equitability) revealed a significant difference ( $P < 0.05$ ) between the different types of soils studied. The density of the spores as well as their diversity vary as follows:  $SAL < SA < SSVN < SSCM$ . The soils of the study area contain a great natural wealth of AMF species, but this natural wealth is significantly affected by gold panning. The native AMF found in these areas could be used for the ecological restoration of degraded gold panning areas.

Copy Right, IJAR, 2023, All rights reserved.

Corresponding Author:- Latifou Tchassanti

Address:- Laboratoire des Sciences Agronomiques et Biologiques Appliquées, Institut Supérieur des Métiers de l'Agriculture, Université de Kara, BP 404 Kara, Togo.

## **Introduction:-**

Le sol représente un des réservoirs de biodiversité les plus importants, représentant environ un quart de la biodiversité totale de la planète (Jeffery et al., 2010). Les micro-organismes du sol sont extrêmement abondants et d'une grande diversité taxonomique et fonctionnelle. Ils comprennent des bactéries, des champignons, des microalgues, des archées et des protistes (Bertrand et al., 2011). Un certain nombre de champignons du sol forment des associations symbiotiques avec les racines des plantes. Ces symbioses plante-champignon sont extrêmement répandues et concernent 80 à 90% des espèces végétales (Meier et al., 2012). Au sein des champignons, il existe des champignons mycorhizien arbusculaire (CMA) représentant le type mycorhizien le plus répandu dans la flore actuelle (Smith et Read, 2010). En effet les CMA sont des microorganismes regroupés dans un groupe monophylétique, le phylum de Glomeromycota comprenant 3 classes, 5 ordres, 14 familles et 29 genres pour environ 230 espèces (Gavériaux, 2012). Ils sont identifiés généralement par la morphologie mais depuis une décennie, l'identification moléculaire est devenue très indispensable.

Plusieurs études ont démontré que la symbiose mycorhizienne stimulait la croissance des plantes herbacées (Van der Heijden et al. 1998) et ligneuses (Charest et al., 1993; Duponnois et al., 2000; Duponnois et al., 2005). En effet, Ces champignons reçoivent de la plante hôte des ressources carbonées et en retour, ils améliorent le prélèvement et le transport vers la plante des éléments nutritifs très peu mobiles du sol (principalement le phosphore) (Bolan 1991), en augmentant la tolérance à la sécheresse (Leyton L., 1981; Strullu, 1991) et en réduisant l'effet des infections pathogènes (Cadet P., 1994; Abdalla & G.M., 2000). Cette symbiose mycorhizienne confère également à la plante une tolérance aux métaux lourds (Joner EJ, 2001) et aux polluants organiques (Leyval C., 2003). La symbiose joue un rôle important dans la restauration des sols dégradés, dans l'alimentation hydrique et la prophylaxie des plantes contre les agents pathogènes (Strullu, 1991; Diop, 1996). Les mycorhizes sont connues pour leur capacité à conférer aux plants une meilleure capacité d'acquisition de l'eau comparée à une plante non mycorhizée (Bárcama et al., 2012) et dans le maintien de la fertilité chimique des sols (plus particulièrement celle en phosphore biodisponible) et d'augmenter ainsi les rendements des cultures en milieu tropical (Duponnois et al., 2007; Tchabi et al., 2016, 2022). Les champignons mycorhiziens forment un réseau mycélien externe et permanent, reliant les plantes entre elles et leur permettant de mieux exploiter les ressources nutritives (Chiarello et Mooney, 1982) dans le sol. Leur identification est basée sur les critères morphologiques des spores (Morton et Benny, 1990). La spore sert d'organe de stockage et de propagation des CMA. Elle est produite à l'extrémité d'un hyphes sporogène ou suspenseur (structure reliant la spore aux hyphes du mycélium) dont la morphologie est utilisée pour identifier certains genres de CMA, à l'intérieur des racines ou dans le sol (Schenck et Pérez, 1990).

Certaines études antérieures ont montré que l'intensification accrue de l'utilisation des terres a un impact sur la diversité des espèces de champignons mycorhiziens arbusculaires dans les agroécosystèmes d'Europe centrale (Oehl et al., 2003) et en zone tropicale (Tchabi et al., 2008, 2009), tandis que la pollution due à l'application prolongée d'engrais phosphorés réduit la diversité des espèces de CMA (Renker, Blanke, et Buscot, 2005). Les travaux de (Thanni et al., 2022) dans le Sud de Nigéria ont démontré que le zéro labour et le travail du tracteur réduisaient la diversité des CMA par rapport au travail du sol à la houe.

Dans la région Centrale du Togo, plus précisément dans les localités de Agbandi, Tchaloudè, Yamba kopé, Kéméni, Kpaza et Agbandaoudè, l'orpaillage occasionne la dégradation du sol. Ce qui pourrait aussi probablement entraîner la réduction ou la disparition de la population des CMA natifs du milieu et de leurs réseaux mycorhiziens souterrains. Malgré leur importance écologique et agronomique reconnue, les CMA ont fait l'objet de très peu d'études sur leur diversité en Afrique de l'Ouest (Zeze et al., 2007; Tchabi et al., 2008; Bossou et al., 2019; Touré et al., 2021; Germain et al., 2022) et plus particulièrement au Togo (Atama et al., 2018). La présente étude vise à évaluer la diversité des espèces de champignons mycorhiziens arbusculaires (CMA) du sol des zones d'orpaillage.

## **Materiel et méthodes:-**

### **Présentation de la zone d'étude**

La région Centrale est située au centre du Togo et couvre une superficie d'environ 13182 km<sup>2</sup>, entre les parallèles 8° et 15° de latitude Nord et les méridiens 0°15 et 1°35 de longitude Est (Figure 1). Elle est à cheval sur trois zones écologiques (II, III et IV) définies par Ern (1979). Sur le plan géologique, les unités rencontrées sont l'Atacora, le Buem, le complexe de l'axe Kabye-Sotouboua-Agou, la plaine bénino-togolaise et les zones de collines. Sur le plan pédologique, les sols rencontrés sont les sols ferrallitiques indurés et non indurés, les sols ferrugineux concrétionnés à faibles et à grande profondeur, les vertisols et les sols peu évolués d'érosion. Le réseau hydrographique est

constitué d'innombrables petits ruisseaux dominés par le fleuve Mono et quelques importantes rivières que sont Anié, Mô et Assoukoko. Ce réseau regorge d'une variété de substances minérales dont l'or. La zone d'étude jouit d'un climat tropical de type soudanien, marqué par l'alternance d'une saison sèche (novembre à mars) et d'une saison pluvieuse (avril à octobre) avec une pluviométrie situant entre 1200 et 1500 mm par an. Les températures varient entre 25,05 et 29,52°C avec une température moyenne de 26 °C. Les formations forestières rencontrés, les forêts denses, les forêts sèches et les forêts riveraines.

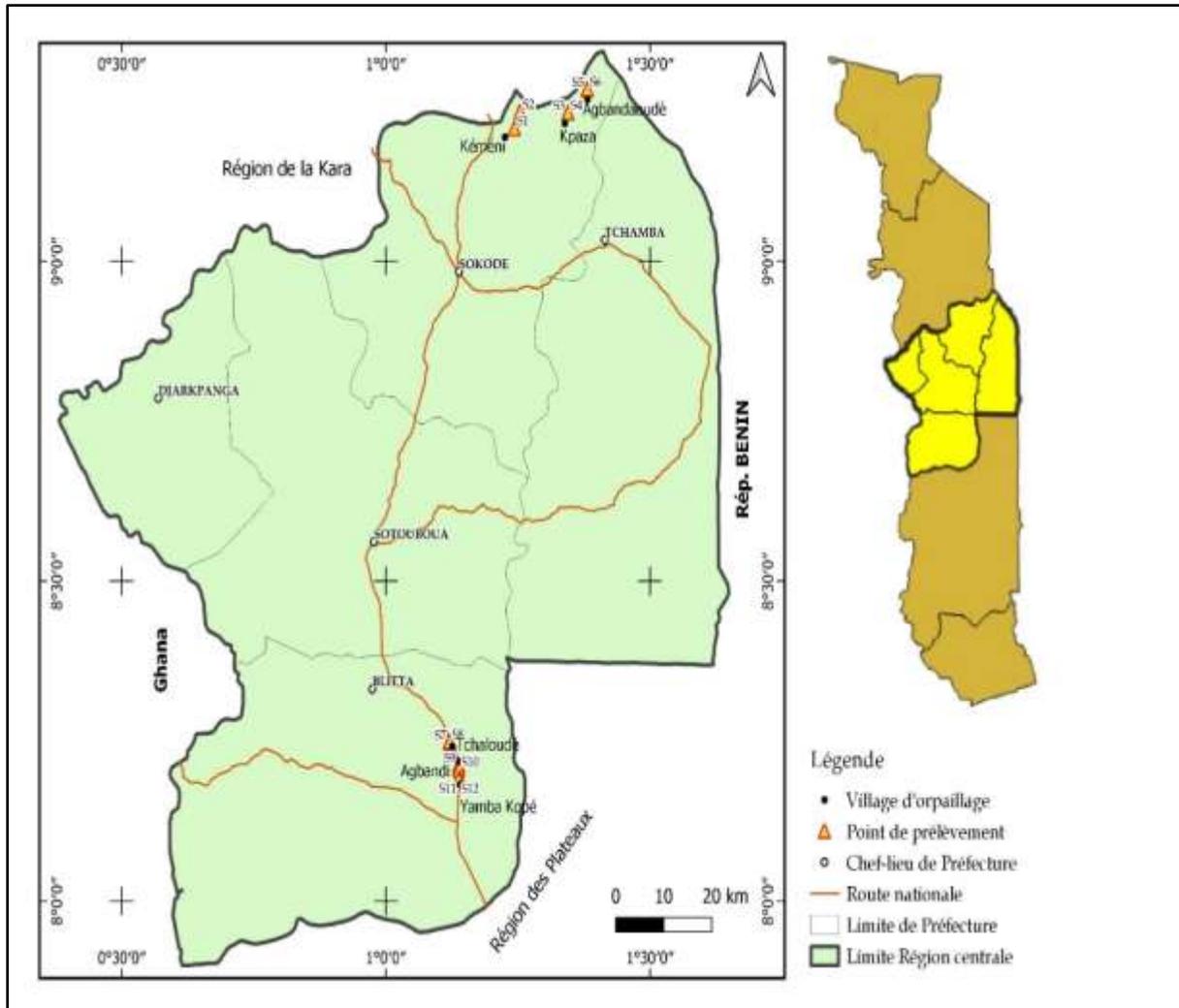


Figure 1:- Localisation de la zone d'étude.

### Echantillonnage des sols

La zone d'étude est la région Centrale où l'activité d'orpaillage est beaucoup pratiquée principalement dans deux préfetures (Tchadoudjo et Blitta) où se concentre la plupart des sites d'orpaillage. Six (6) localités (Yamba-Kopé, Agbandi, Tchadoudè, Agbandaoudè, Kpaza, Kéméni) à raison de trois localités par zone écologique ont été choisies. Dans chaque localité, deux (2) sites d'orpaillage les plus exploités ont été prospectés. Sur chacun des 12 sites, 4 types de sols ont été échantillonnés: le sol aurifère (SA) c'est le sol contenant les minerais d'or à extraire; le sol aurifère lavé (SAL) c'est le sol rejeté après extraction d'or; le sol sous culture de maïs (SSCM) sol prélevé dans les champs de maïs et le sol sous végétation naturelle (SSVN) qui est un sol non dégradé, non anthropisé. Pour chaque type de sols, 4 échantillons de 200 g chacun sont prélevés à une profondeur de 10-20 cm à l'aide d'une tarière manuelle suivant les sommets d'un plateau de forme rectangulaire de 10 m de long et 5 m de large, soit une surface de 15 m<sup>2</sup>; ce qui correspond à un taux de 0,15 % d'hectare (ha). A chaque prélèvement, les coordonnées GPS ont été notées. Avant chaque prélèvement, la tarière est lavée à l'eau afin d'éviter toute contamination. Au total, 192 échantillons de sol ont été prélevés sur l'ensemble des 12 sites prospectés. Les échantillons prélevés dans des sachets plastiques sont convoyés au Laboratoire des Sciences Agronomiques et Biologiques Appliquées (LaSABA)

de l'Institut Supérieur des Métiers de l'Agriculture de l'Université de Kara (ISMA-UK), conservés au réfrigérateur à 4°C pour des tests d'isolement et l'identification des spores de CMA.

### Isolement et dénombrement de spores

Les spores de CMA ont été isolées à partir d'échantillons de sol de terrain de 150 g séchés à l'air en suspension dans l'eau en suivant la méthode de Oehl et al. (2003). Les spores ont été extraites par une technique de tamisage humide et de décantation à travers des séries de tamis emboîtés (de 500, 90, et 32 µm) suivies par une centrifugation en gradient de densité. Seuls les contenus des tamis de 90 et 32 µm ont été versés dans un flacon de 50 ml et centrifugé dans un gradient de 70% de solution de saccharose (Oehl et al., 2003). Après centrifugation à 1000 tr/min pendant 5 min, le surnageant résultant a été passé à travers un tamis de 32 µm, lavé à l'eau du robinet et transféré dans une boîte de Pétri dont le fond est quadrillé pour faciliter le comptage de spores. Les spores obtenues ont été comptés à l'aide d'une loupe binoculaire (G x 40).

### Identification morphologique des spores de CMA

Pour l'identification microscopique, des spores saines ont été montées sur des lames de verre et colorées avec du polyvinyle lactique acide glycérol (PVLG) mélangé avec le réactif de Melzer (1: 1 vol / vol, (Brundrett, Melville, et Peterson, 1994)). L'examen des spores a été fait sous microscope binoculaire (G x 400). Les spores ont été identifiées sur la base des descriptions actuelles des espèces et les manuels d'identification (Schenck et Pérez, 1990); Collection internationale de cultures de champignons endomycorhiziens arbusculaires et vésiculaires [<https://invam.ku.edu/species-descriptions>]).

### 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 Piérou (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 Piérou 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 zones agroécologiques (II et III) ont été examinées. La comparaison des moyennes entre les différents types de sols a été réalisée à l'aide du test t de Student. Des tests de corrélation de Pearson (r) ont été utilisés pour déterminer la relation entre la densité des spores de CMA et les caractéristiques physico-chimiques des différents types de sol. Ces tests ont été réalisés avec l'aide du logiciel STATISTICA 7.1, au seuil de significativité de 0,05. La densité des spores (= abondance des spores) dans un échantillon de sol a été exprimée en nombre de spores de CMA par 10 grammes de sol. Avant l'analyse, les données sur la densité des spores étaient transformées  $\log(x + 1)$  pour normaliser les données.

## Resultas:-

### Fraction fine et caractéristique chimiques du sol

L'analyse des paramètres physico-chimiques des différents types de sols échantillons a révélé une différence significative ( $p < 0,05$ ) dans leur teneur en argile+limon fin, en carbone, en azote et en calcium (Tableau 1). Les sols SA, SSSCM et SSVN ont la valeur la plus élevée liée à leur teneur argile+limon fin ( $15,74 \pm 5,79$ ;  $16,82 \pm 6,00$  et  $15,76 \pm 6,49$ ), en carbone ( $0,45 \pm 0,22$ ;  $0,95 \pm 0,53$ ; et  $0,94 \pm 0,42$ ), en calcium ( $6,34 \pm 2,94$ ;  $6,07 \pm 2,74$  et  $6,37 \pm 2,79$  méq/100g) et en sodium ( $0,24 \pm 0,20$ ;  $0,17 \pm 0,10$  et  $0,18 \pm 0,12$  méq/100g). Cependant, aucune différence significative ( $p > 0,05$ ) n'a été observée en termes du ratio C/N, du phosphore assimilable, du potassium, su sodium,

de la conductivité électrique et de pH entre les différents types de sols échantillonnés. Les sols SA et SAL sont moyennement acide respectivement  $5,99 \pm 0,38$  et  $6,07 \pm 0,90$ . Les sols SSCM et SSVN sont des sols neutres avec des moyennes respectivement de  $6,21 \pm 0,36$  et  $6,12 \pm 0,57$ .

**Tableau 1:-** Caractéristiques physico-chimiques des différents types de sol échantillonné.

Types de sols	Arg+Lf	C	N	C/N	P	Ca	K	Na	CE	pH
SA	15,74±5,79 a	0,45±0,22 b	0,03±0,02 b	15,95±11,59 a	1,23±1,82 a	6,34±2,94 a	0,06±0,05 a	0,24±0,20 a	26,04±25,60 a	6,07±0,90 a
SAL	5,66±7,62 b	0,14±0,07 c	0,02±0,01 b	11,74±6,42 a	0,62±0,64 a	1,42±0,84 b	0,03±0,01 a	0,07±0,08 b	19,28±16,49 a	5,99±0,38 a
SSCM	16,82±6,00 a	0,95±0,53 a	0,08±0,04 a	13,19±7,13 a	1,19±1,22 a	6,07±2,74 a	0,25±0,41 a	0,17±0,10 ab	41,54±34,88 a	6,21±0,36 a
SSVN	15,76±6,49 a	0,94±0,42 a	0,10±0,09 a	13,68±6,99 a	1,28±1,71 a	6,37±2,79 a	0,11±0,04 a	0,18±0,12 ab	54,51±50,19 a	6,12±0,57 a
P	0,000281	0,000001	0,000423	0,662280	0,650379	0,000011	0,065477	0,023086	0,065978	0,850357

Les moyennes suivies de la même lettre dans une même colonne ne diffèrent pas significativement au seuil de 5 %.

SA : Sol aurifère ; SAL : Sol aurifère lavé ; SSCM : Sol sous culture du maïs ; SSVN : Sol sous végétation naturelle. SL : sablo-limoneux. S: sableux; Arg+Lf : argile+limon fin ; C : carbone ; N total : azote total ; C/N : Rapport Carbone Azote ; Pass : Phosphore assimilable ; Ca<sup>2+</sup> : Calcium ; K<sup>+</sup> : Potassium ; Na<sup>+</sup> : Sodium ; pH eau (1/2,5), CE : Conductivité électrique 1/5 (µS/cm).

#### Densité des spores de CMA dans les sols des différents sites

Le tableau 2 montre la densité des spores de champignons mycorhiziens arbusculaires (CMA) dans les différents types de sols prélevés dans la région Centrale du Togo. L'analyse du Tableau 2 montre que le sol aurifère lavé (SAL) est significativement pauvre en spores de CMA par rapport aux autres types de sol. Le nombre de spores isolées le plus élevé (44 spores par 10 g de sol sec) a été observé pour le sol aurifère (SA) dans le site S5 d'Agbandoudè, suivi par celui du site S10 de Agbandi (41 spores par 10 g de sol sec), mais ce nombre a été faible dans le site S8 de Tchaloudè, S1 de Kéméni et très faible sur le site S7 de Tchaloudè respectivement à 8, 6 et 3 spores par 10g de sol sec). Pour le sol aurifère lavé (SAL), le nombre de spores isolées est très faible sur tous les sites. Pour les sols sous culture du maïs (SSCM) et sous végétation naturelle (SSVN), le nombre le plus élevé (221 spores par 10 g de sol sec) a été observé dans le site S1 de Kéméni, suivi par celui du site S12 de Yamba kopé (126 spores par 10 g de sol sec) et du site S7 de Tchaloudè avec 119 spores par 10 g de sol sec. Dans tous les sites, le nombre de spores isolées le plus élevé (374 spores par 10 g de sol sec) a été observé dans le sol sous végétation naturelle (SSVN) du site S1 de Kéméni.

**Tableau 2:-** Densité des spores dans les types de sols en fonction des sites dans les différentes locales échantillonnées.

Sites	Densité de spores/10g de sol					
	Localités	SA	SAL	SSCM	SSVN	P
S1	Kéméni	6±0,23 b	0,75±0,15 c	221,5±0,48 a	374,75±0,08 a	≤ 0,0001
S2	Kéméni	15,75±0,13 b	3,25±0,11 c	43,75±0,07 a	31,75±0,34 ab	≤ 0,0001
S3	Kpaza	26±0,03 a	5±0,10 b	56,5±0,28 a	50,5±0,11 a	≤ 0,0001
S4	Kpaza	29±0,08 a	5±0,11 b	50±0,20 a	38±0,12 a	≤ 0,0001
S5	Agbandaoudè	44,25±0,18 a	5,5±0,06 b	37,75±0,02 a	45,5±0,07 a	≤ 0,0001
S6	Agbandaoudè	39,5±0,08 c	6,25±0,15 d	65,25±0,07 a	46,5±0,08 bc	≤ 0,0001
S7	Tchaloudè	3,25±0,11 c	1±0,00 d	119,25±0,24 a	54,75±0,10 b	≤ 0,0001
S8	Tchaloudè	8,25±0,06 b	3±0,13 c	61,25±0,03 a	44,75±0,15 a	≤ 0,0001
S9	Agbandi	25,75±0,12 b	4,5±0,10 c	87,25±0,06 a	32±0,07 b	≤ 0,0001
S10	Agbandi	41,5±0,09 a	4,25±0,10 b	31±0,11 a	41,5±0,07 a	≤ 0,0001
S11	Yambakopé	31,75±0,12 a	10,75±0,15 b	37±0,08 a	32,5±0,14 a	≤ 0,0002

S12	Yambakopé	24,75±0,02 c	4,5±0,18 d	126,5±0,05 a	38,75±0,07 b	≤ 0,0001
-----	-----------	--------------	------------	--------------	--------------	----------

Les moyennes suivies de la même lettre sur la même ligne ne diffèrent pas significativement au seuil de 5 %.

### Densité des spores en fonction des types de sols dans les zones écologiques II et III

La figure 3 présente la densité de CMA dans les différents types de sols en fonction de la zone écologique II et III. Il a été observé que les sols aurifères lavés (SAL) sont significativement pauvres en spores de champignons mycorrhiziens arbusculaires par rapport aux autres types de sols. Le nombre de spores isolées le plus élevé (97 spores par 10 g de sol sec) a été observé dans la zone II dans le sol sous végétation naturelle (SSVN).

**Tableau 3:-** Densité moyenne en spores en fonction des types de sols au niveau de chaque zone écologique.

Types de sol	Densité de spores/10g de sol	
	Zone II	Zone III
SA	26,75±0,31 b	22,54±0,37 c
SAL	4,29±0,24 c	4,67±0,25 d
SSCM	79,13±0,30 a	77,04±0,25 a
SSVN	97,83±0,41 a	40,7±0,12 b
P	0,000229	0,000000

Les moyennes suivies de la même lettre dans une même colonne ne diffèrent pas significativement au seuil de 5 %.

### Diversité spécifique des CMA en fonction de la zone écologique II et III dans tous les sites échantillonnés

Un total de 30 espèces appartenant à 16 genres classés en 9 familles (Acaulosporaceae, Ambisporaceae, Archaeosporaceae, Gigasporaceae, Claroideoglomeraceae, Dentiscutataceae, Diversisporaceae, Glomeraceae, Paraglomeraceae) de mycorhizes a été identifié à partir de 192 échantillons de sols examinés. L'analyse du Tableau 4 a montré que le genre *Rhizophagus* a été le plus représenté avec cinq espèces suivies du genre *Acaulospora* avec quatre espèces, du genre *Gigaspora* avec trois espèces, des genres *Scutellospora*, *Claroideoglossum*, *Funneliformis*, *Glomus*, *Septoglossum* avec deux espèces chacun et des genres *Entrophospora*, *Ambispora*, *Archaeospora*, *Cetraspora*, *Racocetra*, *Dentiscutata*, *Diversispora* et *Paraglossum* avec une espèce chacun. La richesse spécifique des CMA dans les différents types de sols explorés est restée presque identique dans les deux zones écologiques, variant entre 28 espèces dans la zone III et 30 dans la zone II. A l'exception de *Diversisporasp.* et *Septoglossumsp.*, toutes les autres espèces ont été retrouvées dans les deux zones écologiques.

**Tableau 4:-** Richesse spécifique des CMA collectés dans les différents types de sols en fonction des zones écologiques II et III du Togo.

Familles	Genres	Espèces de CMA	Zone II	Zone III
Acaulosporaceae	<i>Acaulospora</i>	<i>Acaulosporascorbiculata</i>	X	X
		<i>Acaulosporaexcavata</i>	X	X
		<i>Acaulosporacolombiana</i>	X	X
		<i>Acaulospora sp.</i>	X	X
	<i>Entrophospora</i>	<i>Entrophosporainfrequens</i>	X	X
Ambisporaceae	<i>Ambispora</i>	<i>ambisporasp</i>	X	X
Archaeosporaceae	<i>Archaeospora</i>	<i>Archaeosporasp</i>	X	X
Gigasporaceae	<i>Cetraspora</i>	<i>Cetrasporasp</i>	X	X
	<i>Gigaspora</i>	<i>Gigaspora gigantea</i>	X	X
		<i>Gigaspora candida</i>	X	X
		<i>Gigasporarosa</i>	X	X
	<i>Scutellospora</i>	<i>Scutellosporacalospora</i>	X	X
		<i>Scutellospora sp.</i>	X	X
<i>Racocetra</i>	<i>Racocetra sp.</i>	X	X	
Claroideoglomeraceae	<i>Claroideoglossum</i>	<i>Claroideoglossumsetunicatum</i>	X	X
		<i>Claroideoglossumclaroideum</i>	X	X
Dentiscutataceae	<i>Dentiscutata</i>	<i>dentiscutata sp.</i>	X	X
Diversisporaceae	<i>Diversispora</i>	<i>Diversispora sp.</i>	X	-
Glomeraceae	<i>Funneliformis</i>	<i>Funneliformismosseae</i>	X	X

		<i>Funneliformismonosporus</i>	X	X
	<i>Glomus</i>	<i>Glomus clavisorum</i>	X	X
		<i>Glomus microaggregatum</i>	X	X
	<i>Rhizophagus</i>	<i>Rhizophagusaggregatus</i>	X	X
		<i>Rhizophagusclarus</i>	X	X
		<i>Rhizophagusintraradices</i>	X	X
		<i>Rhizophagusmanihotis</i>	X	X
		<i>Rhizophagussinuus</i>	X	X
	<i>Septoglomus</i>	<i>Septoglomusdeserticola</i>	X	X
		<i>Septoglomus sp.</i>	X	-
Paraglomeraceae	<i>Paraglomus</i>	<i>Paraglomus sp.</i>	X	X
<b>Nombred'espèces</b>			<b>30</b>	<b>28</b>
<b>Nombre total d'espèces</b>			<b>30</b>	

### Diversité spécifique des CMA en fonction des différents types de sol

La richesse des espèces de CMA dans les différents types de sols explorées est restée presque identique dans les sols aurifères (SA), les sols sous culture du maïs (SSCM) et les sols sous végétation naturelle (SSVN), variant entre 27 espèces dans SSVN et 29 dans SSCM. Les SAL se retrouvent avec 12 espèces sur un total de 30 espèces (Tableau 5). Les espèces du genre *Gigaspora*, *Scutellospora*, *Rhizophagus*, *Septoglomus* et les espèces *Claroideoglomusclaroideum*, *Dentiscutata* sp. *Diversisporasp.*, *Funneliformismosseae*, *Glomus microaggregatum*, et *Paraglomus* sp. sont absentes dans les sols aurifères lavés (Tableau 5). L'espèce *Dentiscutata* sp. a été retrouvé seulement dans SSCM à Yamba kopé et dans les SSCM à Tchouloudé. L'espèce *Septoglomusdeserticola* a été retrouvé seulement dans les SA d'Agbandi et d'Agbandoudé (Tableau 5).

**Tableau 5:-** Espèces de champignons mycorhiziens arbusculaires détectées sous différents types de sols.

Familles	Genres	Espèces de CMA	SA	SAL	SSCM	SSVN
Acaulosporaceae	<i>Acaulospora</i>	<i>Acaulosporascorbiculata</i>	X	X	X	X
		<i>Acaulosporaexcavata</i>	X	X	X	X
		<i>Acaulosporacolombiana</i>	X	X	X	X
		<i>Acaulospora sp.</i>	X	X	X	X
	<i>Entrophospora</i>	<i>Entrophosporainfrequens</i>	X	X	X	X
Ambisporaceae	<i>Ambispora</i>	<i>Ambisporasp</i>	X	X	X	X
Archaeosporaceae	<i>Archaeospora</i>	<i>Archaeosporasp</i>	X	X	X	X
Gigasporaceae	<i>Cetraspora</i>	<i>Cetrasporasp</i>	X	X	X	X
		<i>Gigaspora</i>	<i>Gigaspora gigantea</i>	X	-	X
		<i>Gigaspora candida</i>	X	-	X	X
		<i>Gigasporarosa</i>	X	-	X	X
	<i>Scutellospora</i>	<i>Scutellosporacalospora</i>	X	-	X	X
		<i>Scutellospora sp.</i>	X	-	X	X
	<i>Racocetra</i>	<i>Racocetra sp.</i>	X	X	X	X
Claroideoglomeraceae	<i>Claroideoglomus</i>	<i>Claroideoglomusetunicatum</i>	X	X	X	X
		<i>Claroideoglomusclaroideum</i>	X	-	X	X
Dentiscutataceae	<i>Dentiscutata</i>	<i>Dentiscutata sp.</i>	-	-	X	-
Diversisporaceae	<i>Diversispora</i>	<i>Diversispora sp.</i>	X	-	X	X
Glomeraceae	<i>Funneliformis</i>	<i>Funneliformismosseae</i>	X	-	X	X
		<i>Funneliformismonosporus</i>	X	X	X	X
	<i>Glomus</i>	<i>Glomus clavisorum</i>	X	X	X	X
		<i>Glomus microaggregatum</i>	X	-	X	X
		<i>Rhizophagus</i>	<i>Rhizophagusaggregatus</i>	X	-	X
		<i>Rhizophagusclarus</i>	X	-	X	X
		<i>Rhizophagusintraradices</i>	X	-	X	X
		<i>Rhizophagusmanihotis</i>	X	-	X	X
		<i>Rhizophagussinuus</i>	X	-	X	X
	<i>Septoglomus</i>	<i>Septoglomusdeserticola</i>	X	-	-	-

		<i>Septoglomerus sp.</i>	X	-	X	-
Paraglomeraceae	<i>Paraglomerus</i>	<i>Paraglomerus sp.</i>	X	-	X	X
<b>Nombred'espèces</b>			<b>29</b>	<b>12</b>	<b>29</b>	<b>27</b>
<b>Nombre total d'espèces</b>			<b>30</b>			

### Richesse des espèces de CMA

La richesse en espèces de champignons mycorhiziens arbusculaires était généralement plus élevée dans les sols sous culture du maïs (SSCM), les sols sous végétation naturelle (SSVN) et les sols aurifères (SA) par rapport aux sols aurifères lavés (Tableau 6). L'indice de Shannon est plus faible dans les SAL ( $0,62 \pm 0,13$  bits) et le plus élevé dans le SSCM ( $0,94 \pm 0,11$  bits). Ces valeurs indiquent que la communauté de CMA est diversifiée en fonction des différents types de sols. L'indice de Pielou a oscillé entre  $0,18 \pm 0,04$  bits et  $0,28 \pm 0,03$  bits. Les valeurs les plus élevées sont rencontrées dans SSCM, SSVN et SA (respectivement  $0,28 \pm 0,03$  ;  $0,27 \pm 0,04$  et  $0,27 \pm 0,10$ ). L'indice le plus petit a été enregistré dans les SAL ( $0,18 \pm 0,04$ ). Les différents types de sols ont un effet significatif ( $p < 0,05$ ) sur la richesse spécifique, la diversité spécifique mais plutôt sur l'équitabilité de de Pielou (Tableau 6). Par contre, il n'existe pas de différence significative (au seuil de 0,05) entre les zones écologiques concernant la richesse spécifique et les deux indices calculés (indice de Shannon-Weaver (H') et l'indice d'équitabilité de Pielou) (Tableau 6).

**Tableau 6:-** Richesse spécifique et valeurs des indices de diversité des spores de CMA en fonction des sites et zones agroécologiques.

	Richesse spécifique	Indice de Shannon-Weaver (H')	Indiced'équitabilité de Pielou
<b>Types de sols</b>			
SA	$15 \pm 6$ b	$0,93 \pm 0,33$ a	$0,27 \pm 0,10$ a
SAL	$5 \pm 1$ c	$0,62 \pm 0,13$ b	$0,18 \pm 0,04$ b
SSCM	$22 \pm 4$ a	$0,94 \pm 0,11$ a	$0,28 \pm 0,03$ a
SSVN	$18 \pm 3$ ab	$0,91 \pm 0,15$ a	$0,27 \pm 0,04$ a
<b>p-value</b>	0,000	0,036	0,038
<b>Zones écologiques</b>			
Zone II	$17 \pm 8$ a	$0,89 \pm 0,20$ a	$0,26 \pm 0,06$ a
Zone III	$14 \pm 7$ a	$0,81 \pm 0,27$ a	$0,24 \pm 0,08$ a
<b>p-value</b>	0,45	0,443	0,349

### Fréquence-abondance des espèces de CMA

La figure 2 présente la fréquence (%) des espèces de CMA et l'abondance de ses espèces de CMA dans 10 g de sol sec. L'analyse de cette figure a montré que les espèces les plus fréquentes étaient *Acaulosporascorbiculata*, *Acaulosporasp.*, *Entrophosporainfrequens*, *Gigasporagigantea*, *Claroideoglomusetunicatum*. Les espèces les plus abondantes étaient *Acaulosporascorbiculata*, *Acaulosporasp.*, *Entrophosporainfrequens*, *Claroideoglomus. Etunicatum*, *Glomus clavisorumet Rhizophagusintraradices* (Figure 3).

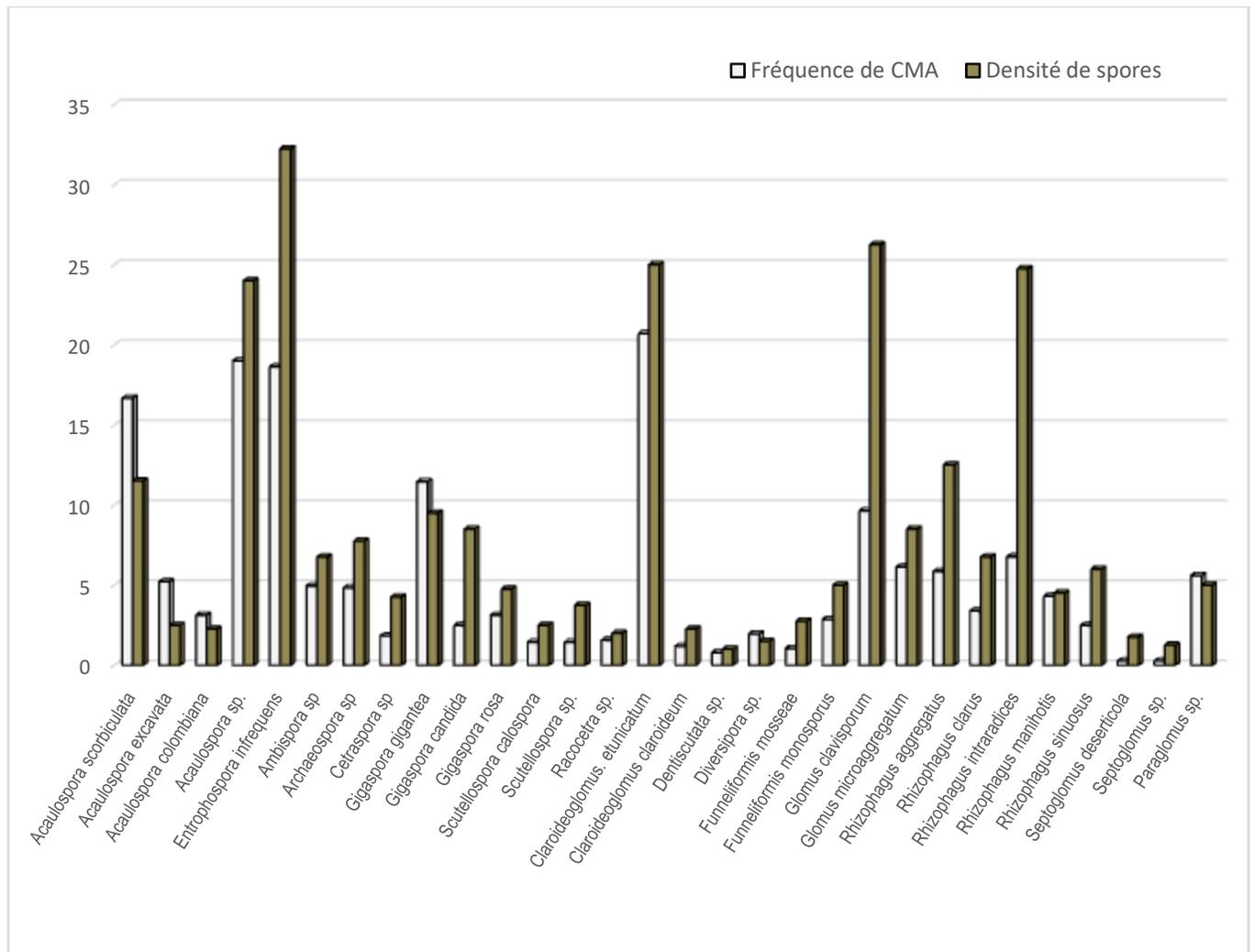
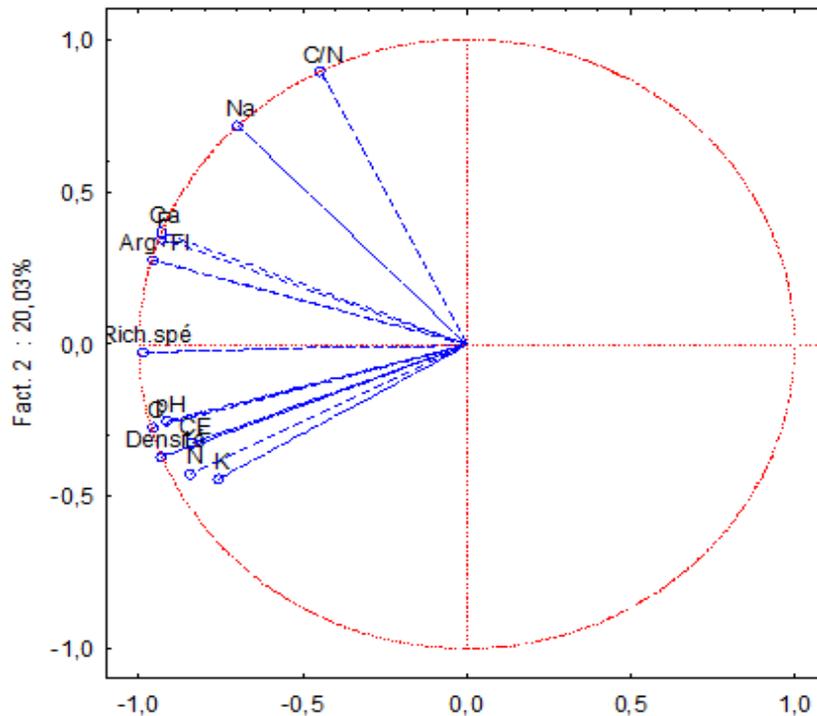


Figure 2:- Fréquence-abondance des espèces de CMA.

### Relation entre les paramètres physico-chimiques et la densité des spores

L'interprétation des résultats a porté sur les deux premières composantes principales (axe F1 et axe F2). Les valeurs propres de l'ACP indiquent que la première composante principale (axe F1) et la seconde (axe F2) expriment, respectivement, 74,23% et 20,03% de l'inertie totale, soit un total de 94,26%. Le graphique de la distribution des variables (Figure 3) indique tous les paramètres physico-chimiques fortement corrélés à l'axe F1 à l'exception de la teneur en Ca et du ratio C/N. L'argile+limon fin, C, N, P, K, Na, CE et pH sont corrélés négativement. Le ratio C/N et Ca sont respectivement positivement corrélés à l'axe F2.

A partir de la projection des types de sols dans les plans factoriels F1 × F2 de l'ACP, l'on constate que les sols échantillonnés se regroupent différemment selon la densité des spores et de la richesse spécifique. Ainsi, les sols sous végétation naturelle (SSVN) et sols sous culture du maïs (SSCM) formant un groupe sont caractérisés avec les éléments chimiques (pH, C, N, K et CE) qui favorise l'abondance des spores.



**Figure 3:-** Projections des variables (paramètres physico-chimiques), la densité des spores et de la richesse spécifique dans les plans factoriels F1 × F2.

### Discussion:-

Notre étude est la première évaluation de la richesse en espèces de CMA dans les sites d'orpaillage au Togo en vue de leurs utilisations comme bio-fertilisants dans la revégétalisation des sites dégradés par les activités d'orpaillage. Les résultats ont montré une grande diversité de CMA avec 30 espèces (morpho espèces) sur les douze sites étudiés appartenant à 16 genres différents classés en 9 familles. Ce résultat est supérieur à ceux obtenus par Gnamkoulamba et al. (2018) qui ont rapporté 25 espèces appartenant à 7 genres associés à la culture de riz sous les différents systèmes de culture de riz dans cinq zones agroécologiques au Togo. Le nombre élevé d'espèces recensées pourrait être due au nombre total d'échantillon de sols examinés et aux différents types de sols étudiés. Cependant, une variation a été observée dans la densité des spores de CMA au sein des différents types de sols étudiés. Les résultats ont montré que les sols aurifères, les sols sous végétation naturelle et les sols sous culture de maïs présentaient des densités de spores de CMA significativement plus élevées ( $p < 0,05$ ) que les sols aurifères lavés. Ce résultat obtenu concorde avec les travaux de Wu et al. (2002) dans les sols rouges érodés en Chine subtropicale. Cette variation pourrait s'expliquer par le processus d'exploitation de l'or qui consiste au lavage du sol aurifère dans le but d'extraire de l'or qui peuvent affecter la densité des spores de CMA dans les sols aurifères lavés. Ce résultat pourrait s'expliquer aussi bien par les caractéristiques physico-chimiques des différents types de sols. 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 résultats issus de ces travaux, révèlent que les sols échantillonnés se regroupent différemment selon la densité des spores et de la richesse spécifique. Ainsi, les sols sous végétation naturelle (SSVN) et sols sous culture du maïs (SSCM) formant un groupe sont caractérisés avec les éléments chimiques (pH, C, N, K et CE) qui favorise l'abondance des spores. Ces résultats corroborent d'autres études antérieures qui ont montré que les teneurs du sol en carbone organique et en azote total sont apparues comme des facteurs influençant positivement l'abondance des spores de CMA (Muchane et al., 2012 ; Hu et al., 2013). Les résultats obtenus ont montré également que la richesse en espèces de champignons mycorrhiziens arbusculaires était généralement plus faible dans les sols aurifères lavés (12 espèces sur un total de 30 espèces identifiées). L'orpaillage a affecté négativement la richesse des espèces, en particulier les espèces du genre *Gigaspora*, *Scutellospora*, *Rhizophagus*, *Septoglomus* et les espèces *Claroideoglomus claroideum*, *Dentiscutatasp.*, *Diversiporaspp.*, *Funneliformismosseae*, *Glomus microaggregatum*, et *Paraglomuspp.* Il a été démontré que le travail du sol extensif influence grandement la composition de la communauté de CMA en réduisant l'extension du mycélium, le taux de colonisation et la structure de la diversité de CMA (Säle et al., 2015; Zhao et al., 2015). L'espèce *Dentiscutatasp.* a été retrouvé seulement dans SSCM à Yamba kopé et dans les SSCM à Tchaloudè.

L'espèce *Septoglomus deserticola* a été retrouvée seulement dans les SA d'Agbandi et d'Agbandoudè. La diversité spécifique dans le sol est influencée par l'écologie du milieu, le mode d'utilisation des sols et aussi par le type de culture. Le nombre d'espèces de CMA et l'indice de diversité de Shannon-Weaver les plus élevés ont été trouvés dans les sols aurifères, les sols sous culture du maïs et les sols sous végétation naturelle. Ces résultats obtenus sont similaires aux travaux de Oehl et al. (2003) qui ont montré que l'intensification agricole, telle qu'elle est pratiquée dans les régions tempérées d'Europe centrale, affecte gravement l'abondance des CMA et la structure des communautés. Cependant, une étude réalisée dans un agroécosystème méditerranéen a révélé que la densité des spores de CMA ou la densité du mycélium extraradicalaire n'est pas affectée par les pratiques de travail du sol conventionnelles (Curaqueo et al. 2011). Certaines études ont montré que l'application d'engrais organiques a des impacts à la fois positifs et négatifs sur la diversité des CMA (Liu et al., 2020). Selon Zhu et al. (2016), la matière organique améliore la composition de la communauté de CMA dans la rhizosphère du maïs. Les spores servent d'organe de stockage et de propagation des CMA. Elles sont produites à l'extrémité d'un hyphes sporogène ou suspenseur (structure reliant la spore aux hyphes du mycélium) dont la morphologie est utilisée pour identifier certains genres de CMA, à l'intérieur des racines ou dans le sol (Schenck et Pérez, 1990). Les résultats issus de ces travaux, révèlent une densité en spores très élevée sous culture de maïs. Cette densité est nettement supérieure à celle obtenue par Gnamkoulamba et al. (2018) dans les pots ensemencés de sorgho et de riz au Togo. Par contre cette densité est nettement inférieure à celle obtenue par Bossou et al. (2019) sous les cultures du maïs (*Zeamays L.*) dans la zone cotonnière du nord Bénin. Les racines du maïs sont moins abondantes, trapues et dépourvues de poils absorbants donc particulièrement dépendantes des CMA (Garbaye, 2013).

### Conclusion:-

L'objectif global de cette étude a été de mettre en évidence la diversité des espèces de champignons mycorrhiziens arbusculaires (CMA), à partir des spores prélevées dans les sols des différentes zones d'orpaillage de la région centrale du Togo. A travers les résultats obtenus, il apparaît que la densité en spores des CMA et la diversité spécifique de CMA dépendent des différents types ou d'exploitation des sols. La densité des spores ainsi que leur diversité variant comme suit: SAL < SA < SSVN < SSCM. Un total de 30 espèces appartenant à 16 genres classés en 9 familles (Acaulosporaceae, Ambisporaceae, Archaeosporaceae, Gigasporaceae, Claroideoglomeraceae, Dentiscutataceae, Diversisporaceae, Glomeraceae, Paraglomeraceae) de mycorrhizes a été identifié à partir de 192 échantillons de sols examinés. Les espèces les plus fréquentes étaient *Acaulosporasorbiculata*, *Acaulosporasp.*, *Entrophosporainfrequens*, *Gigasporagigantea* et *Claroideoglomusetunicatum*. Les espèces les plus abondantes étaient *Acaulosporasorbiculata*, *Acaulosporasp.*, *Entrophosporainfrequens*, *Claroideoglomus. Etunicatum*, *Glomus clavisorumetRhizophagusintraradices*. La diversité spécifique dans le sol est influencée par l'écologie du milieu, le mode d'utilisation des sols. Les CMA natifs retrouvés dans ces zones pourraient être utilisés pour la restauration écologique de ces zones dégradées.

### Références:-

1. Abdalla, M.E. et Abdel-Fattah et G.M. 2000. « Influence of the endo-mycorrhizal fungus *Glomus mosseae* on the development of peanut pod rots disease in Egypt ». *Mycorrhiza* 10: 29-35.
2. Atama, Gnamkoulamba, Tounou Agbéko Kodjo, Tchabi Atti, Agboka Komi, Adjévi Anani Kossi Mawuko, et Batawila Komla. 2018. « Prévalence et diversité des spores des champignons mycorrhiziens arbusculaires en culture de riz sous les différents systèmes de culture de riz dans cinq zones agro-écologiques au Togo ». *Journal of Applied Biosciences*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:92602143>.
3. Bázama, Gloria, Ricardo Aroca, José Antonio Paz, François Chaumont, Mari Carmen Martinez-Ballesta, Micaela Carvajal, et Juan Manuel Ruiz-Lozano. 2012. « Arbuscular mycorrhizal symbiosis increases relative apoplastic water flow in roots of the host plant under both well-watered and drought stress conditions ». *Annals of Botany* 109 (5): 1009-17. <https://doi.org/10.1093/aob/mcs007>.
4. Bertrand, Jean-Claude, Pierre Caumette, Philippe Lebaron, Robert Matheron, et Philippe Normand. 2011. *Écologie microbienne: Microbiologie des milieux naturels et anthropisés*.
5. Bolan, N.S. 1991. « A Critical Review of the Role of Mycorrhizal Fungi in the Uptake of Phosphorus by Plants ». *Plant Soil* 134: 189-130.
6. Bossou, Leslie-Dolorès Raïssa, Howell Bidossessi Hounngandan, Appolinaire Adandonon, Charlotte Zoundji, et Pascal Hounngandan. 2019. « Diversité Des Champignons Mycorrhiziens Arbusculaires Associés à La Culture Du Maïs (*Zea Mays L.*) Au Bénin ». *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 13 (2): 597-609. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v13i2.2>.

7. Brundrett, Mark, Lewis Melville, et Larry Peterson. 1994. Practical Methods in Mycorrhiza Research: Based on a Workshop Organized in Conjunction with the Ninth North American Conference on Mycorrhizae, University of Guelph, Guelph, Ontario, Canada. Mycologue Publications.
8. Cadet P, Duponnois R. 1994. « Interactions of Meloidogyne Javanica and Glomus Sp. On Growth and N<sub>2</sub> Fixation of Acacia Seyal ». Afro Asian Journal of Nematology 4: 228-33.
9. Charest, C., Dalpé Y. Brown, et A. 1993. « The Effect of Vesicular Arbuscular Mycorrhizae and Chilling on Two Hybrids of Zea Mays L ». Mycorrhiza 4: 89-92.
10. Chiarello, N., et Hickman J.C. Mooney H.A. 1982. « Endomycorrhizal role for interspecific transfer of phosphorus in a community of annual plants ».
11. Curaqueo, Gustavo, José Miguel Barea, Edmundo Acevedo, Rosa Rubio, Pablo Cornejo, et Fernando Borie. 2011. « Effects of different tillage system on arbuscular mycorrhizal fungal propagules and physical properties in a Mediterranean agroecosystem in central Chile ». Soil and Tillage Research 113 (1): 11-18. <https://doi.org/10.1016/j.still.2011.02.004>.
12. Diop, T. A. 1996. « Les mycorhizes à vésicules et arbuscules ». J Fac Sci Dakar, Univ. Cheikh Anta Diop 2: 49-64.
13. Duponnois, R., A. M. Bâ, C. Plenchette, J. Thioulouse, et ... 2000. « Effet de la jachère sur des populations de champignons mycorrhiziens à arbuscules au Sénégal ». mJohn .... researchgate.net. [https://www.researchgate.net/profile/Amadou-Ba-2/publication/286079013\\_Effets\\_de\\_la\\_jachere\\_sur\\_des\\_populations\\_de\\_champignons\\_mycorrhiziens\\_a\\_arbuscules\\_au\\_Senegal/links/56cd903e08aeb52500c330df/Effets-de-la-jachere-sur-des-populations-de-champignons-mycorrhiziens-a-arbuscules-au-Senegal.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Amadou-Ba-2/publication/286079013_Effets_de_la_jachere_sur_des_populations_de_champignons_mycorrhiziens_a_arbuscules_au_Senegal/links/56cd903e08aeb52500c330df/Effets-de-la-jachere-sur-des-populations-de-champignons-mycorrhiziens-a-arbuscules-au-Senegal.pdf).
14. Duponnois, R., A. Colombet, V. Hien, et J. Thioulouse. 2005. « The Mycorrhizal Fungus Glomus Intraradices and Rock Phosphate Amendement Influence Plant Growth and Microbial Activity in the Rhizosphere of Acacia Holosericea. Article Sous Presse ».
15. Duponnois, R., C. Plenchette, Y. Prin, M. Ducouso, M. Kisa, A.M. Bâ, et A. Galiana. 2007. « Use of Mycorrhizal Inoculation to Improve Reafforestation Process with Australian Acacia in Sahelian Ecozones ». Ecological Engineering 29: 105 112.
16. Ern, Hartmut. 1979. « Die Vegetation Togos. Gliederung, Gefährdung, Erhaltung ». Willdenowia 9 (2): 295-312.
17. Garbaye. 2013. La symbiose mycorrhizienne - Une association entre les plantes et les champignons - Jean Garbaye (EAN13 : 9782759221165) | Librairie Quae : des livres au coeur des sciences. <https://www.quae.com/produit/1207/9782759221165/la-symbiose-mycorrhizienne>.
18. Gavériaux, Jean-Pierre. 2012. « Les glomeromycota : Mycorhizes VAM et Geosiphonpyriformis (Kützing) Wettstein », Bull. Soc. Mycol. Nord Fr., 92: 17.
19. Germain, Droh, Djezou Kouadio Meliton, Kouassi Koffi Brice Aymar, Kouassi Abou Bakari, et Tiecoura Kouakou. 2022. « Diversity of Arbuscular Mycorrhizal Fungi Spores in Maize (Zea Mays L.) Plantations in Côte d'Ivoire ». American Journal of Agriculture and Forestry 10 (5): 170. <https://doi.org/10.11648/j.ajaf.20221005.14>.
20. Gnamkoulamba, Atama, kodjoTounou Agbeko, Atti E., Agboka Komi, AdjéviAnaniKossiMawuko, et Batawila Komla. 2018. « Prévalence et Diversité Des Spores Des Champignons Mycorrhiziens Arbusculaires En Culture de Riz Sous Les Différents Systèmes de Culture de Riz Dans Cinq Zones Agro-Écologiques Au Togo ». Journal of Applied Biosciences 126 (août): 12647-64. <https://doi.org/10.4314/jab.v126i1.3>.
21. Hu, Yajun, Matthias C. Rillig, Dan Xiang, Zhipeng Hao, et Baodong Chen. 2013. « Changes of AM Fungal Abundance along Environmental Gradients in the Arid and Semi-Arid Grasslands of Northern China ». PLOS ONE 8 (2): e57593. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0057593>.
22. Jeffery, S., C. Gardi, A. Jones, L. Montanarella, L. Marmo, L. Miko, K. Ritz, G. Peres, J. Römbke, et W.H. van der Putten. 2010. European Atlas of Soil Biodiversity, European Commission, Publications Office of the European Union. Publication Office of the European Union.
23. Joner EJ, Leyval C. 2001. Bioavailability of Heavy Metals in the Mycorrhizosphere. Dans: Trace Elements in the Rhizosphere. CRC Press.
24. Leyton L, Hardie K. 1981. « The Influence of VA Mycorrhiza on Growth and Water Relations of Red Clover in Phosphate Deficient Soil ». New Phytologist 89: 599-608.
25. Leyval C, Joner E.J. 2003. « Rhizosphere Gradients of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH) Dissipation in Two Industrial Soils and the Impact of Arbuscular Mycorrhiza ». Environmental Science & Technology 37: 2371-75.

26. Liu, Jia, Jie Zhang, Daming Li, Changxu Xu, et Xingjia Xiang. 2020. « Differential Responses of Arbuscular Mycorrhizal Fungal Communities to Mineral and Organic Fertilization ». *MicrobiologyOpen* 9 (1): e00920. <https://doi.org/10.1002/mbo3.920>.
27. Meier, Sebastian, Fernando Borie, Nanthi Bolan, et Pablo Cornejo. 2012. « Phytoremediation of Metal-Polluted Soils by Arbuscular Mycorrhizal Fungi ». *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 42 (avril): 741-75. <https://doi.org/10.1080/10643389.2010.528518>.
28. Morton, J.B., et G.L. Benny. 1990. « Revised classification of arbuscular mycorrhizal fungi zygomycetes a new order glomales two new suborders glomineae and gigasporineae and two new families acaulosporaceae and gigasporaceae with an emendation of glomaceae ». *Mycotaxon* 37: 471-92.
29. Muchane, Mary Nyawira, MuchaiMuchane, Charles Mugoya, et CletWanduiMasiga. 2012. « Effect of Land Use System on Arbuscular Mycorrhiza Fungi in Maasai Mara Ecosystem, Kenya ». *African Journal of Microbiology Research* 6 (17). <https://doi.org/10.5897/AJMR12.155>.
30. Oehl, Fritz, EndreLaczko, Arno Bogenrieder, Karl Stahr, Robert Bösch, Marcel van der Heijden, et Ewald Sieverding. 2010. « Soil type and land use intensity determine the composition of arbuscular mycorrhizal fungal communities ». *Soil Biology and Biochemistry* 42 (5): 724-38.
31. Oehl, Fritz, Ewald Sieverding, Paul Mäder, Thomas Boller, et Andres Wiemken. 2003. « Impact of Land Use Intensity on the Species Diversity of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Agroecosystems of Central Europe ». *Applied and environmental microbiology* 69 (juin): 2816-24. <https://doi.org/10.1128/AEM.69.5.2816-2824.2003>.
32. Renker, C., V. Blanke, et F. Buscot. 2005. « Diversity of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Grassland Spontaneously Developed on Area Polluted by a Fertilizer Plant ». *Environmental Pollution (Barking, Essex: 1987)* 135 (2): 255-66. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2004.11.002>.
33. Säle, Verena, Paula Aguilera, EndreLaczko, Paul Mäder, Alfred Berner, UrsZihlmann, Marcel GA van der Heijden, et Fritz Oehl. 2015. « Impact of conservation tillage and organic farming on the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi ». *Soil Biology and Biochemistry* 84: 38-52.
34. Schenck, N. C., et Yvonne Pérez. 1990. *Manual for the Identification of VA Mycorrhizal Fungi*. 3rd ed. Gainesville, FL: Synergistic Publications Gainesville, FL.
35. Smith, SE, et DJ Read. 1997. *Mycorrhizal symbiosis*. 2nd éd. San Diego: Academic Press.
36. Strullu, D.G. 1991. « Les mycorhizes des arbres et des plantes cultivées ». *Techniques et Documentation Lavoisier*. Paris, 242.
37. Tchabi, A., F.C.C. Hountondji, B. Ogunsola, L. Lawouin, D. Coyne, A. Wiemken, et F. Oehl. 2016. « The Influence of Arbuscular Mycorrhizal Fungi Inoculation on Micro-Propagated Hybrid Yam (*Dioscorea* Spp.) Growth and Root Knot Nematode (*Meloidogyne* Spp.) Suppression ». *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 5 (10): 267-81.
38. Tchabi, Atti, Danny Coyne, Fabien Hountondji, Louis Lawouin, Andres Wiemken, et Fritz Oehl. 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 (4): 181-95. <https://doi.org/10.1007/s00572-008-0171-8>.
39. Tchabi, Atti, Fabien Hountondji, Louis Laouwin, Danny Coyne, et Fritz Oehl. 2009. « *Racocetrabeninensis* from sub-Saharan savannas: A new species in the Glomeromycetes with ornamented spores ». *Mycotaxon* 110 (octobre): 199-209. <https://doi.org/10.5248/110.199>.
40. Thanni, Bolaji, Roel Merckx, Pieterjan De Bauw, Margaux Boeraeve, Gerrit Peeters, Stefan Hauser, et Olivier Honnay. 2022. « Spatial Variability and Environmental Drivers of Cassava-Arbuscular Mycorrhiza Fungi (AMF) Associations across Southern Nigeria ». *Mycorrhiza* 32 (1): 1-13. <https://doi.org/10.1007/s00572-021-01058-x>.
41. Touré, Guy-Pacome, Jacob Nandjui, Armand Koné, Ghislaine Kouadjo, AnicetEbou, SeydouTiho, et Adolphe Zézé. 2021. « Diversité des champignons mycorhiziens à arbuscules et interactions avec le système sol-litière dans un écotone forêt-savane, Côte d'Ivoire » 28 (février): 93-104.
42. Van der Heijden, Marcel, John Klironomos, Margot Ursic, Peter Moutoglis, Ruth Streitwolf-Engel, Thomas Boller, Andres Wiemken, et Ian Sanders. 1998. « Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity ». *Nature* 396 (novembre). <https://doi.org/10.1038/23932>.
43. Wu, Tiehang, Wenying Hao, Xiangui Lin, et Yaqin Shi. 2002. « Screening of Arbuscular Mycorrhizal Fungi for the Revegetation of Eroded Red Soils in Subtropical China ». *Plant and Soil* 239 (2): 225-35. <https://doi.org/10.1023/A:1015078207757>.

44. Zeze, A., B. Ouattara, C. Y. Brou, D. Van Tuinen, H. Diallo-Attah, et A. Sangare. 2007. « Distribution Et Abondance De Spores De Champignons Endomycorhizogenes A Arbuscules Dans Differents Types De Forets De La Tene En Côte D'ivoire ». *Agronomie Africaine* 19 (2): 103-11. <https://doi.org/10.4314/aga.v19i2.1710>.
45. Zhao, Renxin, Wei Guo, Na Bi, Jiangyuan Guo, Lixin Wang, Ji Zhao, et Jun Zhang. 2015. « Arbuscular mycorrhizal fungi affect the growth, nutrient uptake and water status of maize (*Zea mays* L.) grown in two types of coal mine spoils under drought stress ». *Applied Soil Ecology* 88 (avril): 41-49. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2014.11.016>.
46. Zhu, Chen, Ning Ling, Junjie Guo, Min Wang, Shiwei Guo, et Qirong Shen. 2016. « Impacts of Fertilization Regimes on Arbuscular Mycorrhizal Fungal (AMF) Community Composition Were Correlated with Organic Matter Composition in Maize Rhizosphere Soil ». *Frontiers in Microbiology* 7. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2016.01840>.