

Distribution spatio-temporelle des espèces de *Phytophthora* spp., agent responsable de la pourriture brune des cabosses de cacaoyer (*Theobroma cacao* L.) dans le département d'Aboisso, Côte d'Ivoire

Klotioloma COULIBALY^{1*}, Souleymane SANOGO², Brice Sidoine ESSIS¹, Gogbé Françoise DIBI¹,
Touré Pierre KOUASSI² et Brigitte Sahin GUIRAUD¹

¹ Centre National de Recherche Agronomique (CNRA), Station de Recherche de Divo, BP 808 Divo, Côte d'Ivoire

² Université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan, Unité de Formation et de Recherche Biosciences,
Laboratoire de Biotechnologie Agriculture et Valorisation des Ressources Biologiques, 22 BP 582 Abidjan 22,
Côte d'Ivoire

(Reçu le 15 Mai 2023 ; Accepté le 27 Septembre 2023)

* Correspondance, courriel : coolklotiolo@yahoo.fr

Résumé

Cette étude a pour objectif d'étudier la dynamique spatio-temporelle des espèces de *Phytophthora* spp, agents responsables de la pourriture brune des cabosses de cacaoyer. Elle a été conduite dans quatre sous-préfectures du département d'Aboisso au Sud-Est de la Côte d'Ivoire. Dans chaque sous-préfecture, six plantations ont été sélectionnées et dans chacune des plantations, 100 cacaoyers ont été choisis de manière aléatoire. Une collecte et un dénombrement chaque quinze jours des cabosses atteintes de pourriture brune ont permis de déterminer l'incidence de la maladie dans cette zone de cacaoiculture. Les analyses morphoculturales et microscopiques des isolats issus des cabosses atteintes de pourriture ont permis de mettre en évidence les espèces responsables de cette affection. Les résultats obtenus ont indiqué une perte de rendement, de plus de 21 % du potentiel de production dans ce département et les agents responsables de cette maladie ont été identifiés comme appartenant aux espèces de *Phytophthora palmivora* et *Phytophthora megakarya*. Les caractéristiques morphoculturales et microscopiques ont permis de discriminer les deux espèces de *Phytophthora*. Ainsi, *P. megakarya* a été caractérisé par les isolats ayant un thalle à aspect cotonneux alors que *P. palmivora* a présenté un thalle strié, radié à faciès stellé. Les sporocystes de *P. megakarya* ont présenté un pédicelle plus long ($> 5 \mu\text{m}$) avec un rapport longueur/largeur inférieur à 1,5 tandis que ceux de *P. palmivora* avaient un court pédicelle ($< 5 \mu\text{m}$) avec un rapport longueur/largeur proche de 2. Une cohabitation des deux espèces avec une proportion importante de *Phytophthora palmivora* a été signalée dans toutes les localités visitées en dehors de la sous-préfecture d'Adaou où seule l'espèce *P. palmivora* a été identifiée. Les conséquences épidémiologiques de cette cohabitation et les interactions interspécifiques sont discutées.

Mots-clés : pourriture brune, *Phytophthora palmivora*, *Phytophthora megakarya*, Côte d'Ivoire.

Abstract

Spatial and temporal distribution of *Phytophthora* spp., species, causal agent of black pod disease of cocoa (*Theobroma cacao* L.) in Aboisso Department, Côte d'Ivoire

The aim of this study was to investigate the spatio-temporal dynamics of *Phytophthora* spp species, the agents responsible for brown pod rot in cocoa. It was carried out in four sub-prefectures of the Aboisso department in south-eastern Côte d'Ivoire. Six plantations were selected in each sub-prefecture, and 100 cocoa trees were randomly selected from each plantation. The incidence of the disease in this cocoa-growing area was determined by collecting and counting pods affected by brown rot every fortnight. Morphocultural and microscopic analyses of isolates from rotten pods revealed the species responsible for the disease. The results indicated a yield loss of over 21 % of production potential in this department, and the agents responsible for the disease were identified as *Phytophthora palmivora* and *Phytophthora megakarya* species. Morphocultural and microscopic characteristics made it possible to discriminate between the two *Phytophthora* species. *P. megakarya* was characterized by isolates with a cottony thallus, while *P. palmivora* showed a striated, radiated thallus with stellate facies. The sporocysts of *P. megakarya* had a longer pedicel ($> 5 \mu\text{m}$) with a length/width ratio of less than 1.5, while those of *P. palmivora* had a short pedicel ($< 5 \mu\text{m}$) with a length/width ratio close to 2. Both species were present in all the localities visited in the department, with a high proportion of *Phytophthora palmivora*. The epidemiological consequences of this cohabitation and interspecific interactions are discussed.

Keywords : *Black pod, Phytophthora palmivora, Phytophthora megakarya, Côte d'Ivoire.*

1. Introduction

L'économie de la Côte d'Ivoire est largement orientée vers le secteur agricole qui représentait 20,6 % du PIB et 47 % des exportations globales du pays en 2017 [1]. La filière cacao ivoirienne représente un poids très important dans la production mondiale (40 %) avec une production annuelle estimée à 2.200.000 tonnes en 2018 pour une valeur monétaire d'environ 3.872 millions d'euro [1]. Au plan social, ce sont environ 600.000 chefs d'exploitations qui animent l'appareil de production, faisant ainsi vivre environ 6.000.000 de personnes des revenus du cacao [2]. Le cacao représente donc un produit agricole stratégique pour la Côte d'Ivoire. En effet, il joue un rôle primordial dans la prospérité économique et sociale du pays. La cacaoculture occupe une population agricole de plus d'un million de producteurs et procure de nombreux emplois dans les secteurs secondaire et tertiaire [3]. Malgré cette performance remarquable, la durabilité de la cacaoculture en Côte d'Ivoire est compromise par plusieurs contraintes d'ordre abiotiques et biotiques [4]. Les contraintes abiotiques concernent principalement la baisse de la fertilité des sols sous cacaoyère et l'évolution défavorable du climat (Kassin, 2009). Les contraintes biotiques sont quant à elles dues à la pression parasitaire tels que les mirides (*Sahlbergella singularis* et *Distantiella theobromae*), les maladies virales et fongiques [5 - 7]. En ce qui concerne les contraintes dues aux maladies, le virus du gonflement des rameaux du cacaoyer appelé en anglais Cocoa Swollen Shoot Virus (CCSV) avec ses conséquences économiques énormes [8] et la pourriture brune des cabosses de cacao due à *Phytophthora* spp constituent les bioagresseurs du cacaoyer les plus importants au regard des dégâts causés [9 - 11]. La pourriture brune est l'affection la plus répandue et la plus importante dans la cacaoculture ivoirienne [12]. En effet, aujourd'hui en Côte d'Ivoire, la pourriture brune est devenue une maladie de grande ampleur, les pertes de production qui étaient évaluées de 10 à 25 % sont passées à plus de 40 % [13, 14]. De nombreuses études ont été menées sur la pourriture brune des cabosses de cacaoyer dans les différentes zones de production [15 - 19]. Les unes ont porté sur l'impact socio-économique de la maladie et les autres sur l'agent causal, du genre *Phytophthora* spp.

Des méthodes de lutte chimique, génétique et culturale ont également été mises au point pour réduire l'incidence de la maladie [20, 21]. La combinaison de ces différentes méthodes pourrait être envisagée dans une approche de lutte intégrée en vue d'une meilleure maîtrise de cette affection. Cependant, la mise en place d'un tel système passe par la connaissance approfondie de l'interaction entre le parasite et l'hôte dans leur environnement. C'est dans cette optique que la présente étude est menée, avec pour objectif d'analyser la distribution spatio-temporelle des espèces de *Phytophthora* spp dans le département d'Aboisso. De manière spécifique, il s'agira d'une part d'évaluer l'incidence de la pourriture brune des cabosses, ensuite d'identifier les espèces de *Phytophthora* responsables et enfin de déterminer la répartition spatio-temporelle desdites espèces dans cette zone.

2. Matériel et méthodes

2-1. Matériel végétal et fongique

Le matériel végétal a été constitué de cabosses de cacaoyer présentant les symptômes caractéristiques de la pourriture brune (**Figure 1**). Quant au matériel fongique, il a été composé de 105 isolats de *Phytophthora* spp., et des souches BL7.11.2 et 13P30.1 appartenant respectivement aux espèces de *P. palmivora* et *P. megakarya*. Les isolats ont été obtenus à partir des cabosses de cacaoyers collectées dans différentes parcelles du département d'Aboisso.



Figure 1 : Cabosse atteinte de pourriture brune sur tronc de cacaoyer

2-2. Zone d'étude

Les données de la présente étude sont issues du département d'Aboisso notamment les sous - préfectures d'Aboisso, Maféré, Ayamé et Adaou, principales zones de production de cacao de la région du Sud-Comoé. Ce département, situé à environ 120 km d'Abidjan est une zone caractérisée par un climat de type sub-équatorial, à régime bimodal, avec des précipitations moyennes annuelles d'environ 2000 mm, des températures moyennes oscillant entre 24,8 °C et 28,6 °C [22] et un domaine phytogéographique guinéen [23].

2-3. Prospection et collecte de cabosses atteintes de la pourriture brune

Des prospections ont été effectuées dans les quatre sous-préfectures du département d'Aboisso, Dans chaque sous-préfecture, six plantations ont été sélectionnées et dans chacune des plantations la collecte a été effectuée dans des plantations retenues pour l'évaluation de l'incidence de la pourriture brune à raison de deux cabosses immatures atteintes de pourriture brune par cacaoyer. Dans chaque sous-préfecture, des cabosses immatures naturellement atteintes de pourriture brune, en provenance d'emplacements variés de

la cacaoyère ont été collectées. Ainsi, 12 cabosses atteintes de pourriture sont collectées par plantation, soit un total de 108 cabosses. Les échantillons de cabosses récoltés ont été conservés dans des sachets plastiques, étiquetés et ramenés au laboratoire pour les isolements.

2-4. Evaluation de l'incidence de la pourriture brune

Dans chaque cacaoyère, la méthode des cibles aléatoires [24] a été utilisée pour estimer les pertes dues à la pourriture brune des cabosses. Cette méthode a été retenue pour minimiser le caractère extrêmement hétérogène des cacaoyères, tant au niveau des arbres, du sol, de l'ombrage que de la variabilité de la pression infectieuse dans l'espace. Cette méthode a consisté à suivre l'évolution de la maladie sur 100 cacaoyers. Les 100 cacaoyers ont été choisis de manière aléatoire dans la plantation et marqués par des pancartes numérotées. Au cours des deux campagnes (petite et grande) de l'année 2021, le comptage des cabosses a été effectué tous les 15 jours. Ce choix arbitraire est justifié par la nécessité d'avoir entre deux périodes un nombre de cabosses symptomatiques suffisant sur les arbres, surtout dans les localités où l'incidence de la maladie est moindre. Ces comptages ont consisté à dénombrer toutes les cabosses saines mûres, atteintes de pourriture brune, de pourriture noire et les cabosses rongées. A l'exception des cabosses atteintes de pourriture brune, toutes les cabosses dénombrées ont été éliminées après le comptage (les cabosses mûres saines étant remises au producteur). Afin d'éviter de perturber le développement de l'épidémie, toutes les cabosses atteintes de pourriture brune n'ont pas été récoltées. Elles ont été marquées pour éviter d'être comptées plusieurs fois. Le marquage a consisté à sectionner l'apex de la cabosse à l'aide d'un sécateur. Les données collectées ont été enregistrées par parcelle et les pertes de récoltes dues à la pourriture brune des cabosses ont été estimées par rapport à la production potentielle selon la **Formule** suivante [25] :

$$TF = \frac{\sum CPB \times 100}{\sum CMS + \sum CPB + \sum CPN + \sum CR} \quad (1)$$

où, *TF* : taux final en pourcentage,

$\sum CPB$: nombre cumulé des cabosses atteintes de pourriture brune,

$\sum CMS$: nombre cumulé des cabosses mûres saines,

$\sum CPN$: nombre cumulé des cabosses atteintes de pourriture noire,

$\sum CR$: nombre cumulé des cabosses rongées durant toute la période de l'essai d'une parcelle puis d'une sous-préfecture donnée.

2-5. Isolement et purification des isolats de *Phytophthora* spp

Les isolats ont été prélevés sur des cabosses immatures atteintes de la pourriture brune dont les nécroses sont en cours d'évolution. Les parties nécrosées ont été lavées avec de l'alcool à 95 % et flambées pendant 30 secondes. La zone de prélèvement a été choisie et les tissus superficiels ont été décapés à l'aide d'un scalpel stérile. Trois fragments de forme cubique de 7 mm de côté ont été prélevés dans les tissus sous-corticaux avec un emporte-pièce stérile au niveau du front de croissance de la nécrose. Des rondelles ont alors été déposées sur le milieu de culture eau gélosée à 1,5 % dans des boîtes de Pétri de 90 mm de diamètre. L'incubation a été effectuée à l'obscurité dans une mycothèque à 26 °C pendant 7 jours. Après une semaine d'incubation, les isolats obtenus ont été purifiés par repiquages successifs sur milieu petit pois contenu dans des boîtes de Pétri de diamètre 90 mm. Le transfert des isolats a été réalisé par prélèvement au niveau du front de croissance d'un fragment de gélose, contenant de très fins filaments mycéliens.

2-6. Caractérisation morphologique des isolats de *Phytophthora* spp

2-6-1. Caractérisation macroscopique

Toutes les études morphoculturales ont été réalisées sur extrait de carotte-agar à 1,5 %. Pour chaque isolat, un fragment de thalle de 6 mm de diamètre a été prélevé à l'aide d'un emporte-pièce, dans la périphérie du thalle en pleine croissance. Le fragment de thalle a été déposé au centre de chaque boîte de Pétri. L'incubation a été réalisée à 26 °C. Après 7 jours de croissance, à l'obscurité, les observations, sur le faciès du thalle ont été effectuées et ont porté sur l'aspect du faciès de la colonie, l'aspect du thalle aérien, l'aspect du front de croissance et la croissance mycélienne. La détermination de la croissance mycélienne a consisté à tracer deux droites perpendiculaires (X et Y) au verso de chaque boîte de Pétri et passant par le centre de l'explant mycélien. Les mesures de la croissance mycélienne ont été effectuées de façon journalière à l'aide d'une règle transparente graduée suivant les deux axes (X et Y) jusqu'à l'occupation totale de chaque boîte de Pétri. L'évolution du mycélium dans chaque boîte est obtenue en faisant la moyenne des deux diamètres

$$D = (d1 + d2)/2 \quad (2)$$

où, *D* : diamètre moyen de l'isolat dans une boîte, *d1* et *d2* : les mesures des deux droites perpendiculaires [26]. La moyenne de la croissance mycélienne de chaque isolat a été calculée à partir des diamètres moyens provenant des quatre boîtes.

2-6-2. Caractérisation microscopique

Après les études morphoculturales de chaque isolat, un fragment de thalle de 6 mm de diamètre d'une culture pure de *Phytophthora* spp, âgée de 7 jours, a été prélevé au niveau du front de croissance sur un milieu carotte-agar. Ce fragment de thalle a ensuite été repiqué sur milieu petit pois gélosé. L'incubation a été réalisée à l'obscurité à 26 °C, pendant 4 jours. Ensuite, les cultures ont été incubées à une photopériode de 12 heures à 26 °C, pendant 2 à 3 jours. Un fragment de thalle de chaque isolat a été prélevé à l'aide d'une aiguille lancéolée et déposé sur lame recouverte de lamelle dans une goutte d'eau distillée stérile. La préparation a été fixée avec de la glycérine pour éviter l'évaporation ainsi que son dessèchement sous l'effet de la chaleur émise par la lampe du microscope optique. Les observations ont porté sur les critères morphologiques de classification des espèces de *Phytophthora* spp, [27, 28]. Il s'agit notamment de la morphologie des sporocystes (forme, longueur, largeur), la longueur du pédicelle sur le sporocyste. La longueur du pédicelle, ainsi que, la longueur et la largeur de 30 sporocystes choisis arbitrairement ont été mesurés pour chaque isolat. Un microscope optique muni d'un micromètre a été utilisé pour mesurer la longueur et la largeur des sporocystes ainsi que la longueur du pédicelle au grossissement G X 400. Le rapport longueur/largeur (L/l) a été calculé pour chaque isolat.

2-7. Détermination de la polarité sexuelle des isolats de *Phytophthora* spp

La détermination du signe sexuel des isolats de *Phytophthora* spp, a consisté à mettre en confrontation deux isolats purifiés de *Phytophthora* spp ; dans une même boîte de Pétri. L'un des isolats provenait de la prospection et l'autre était une souche de *Phytophthora palmivora* nommée BL7.11.2 de type sexuel A2, servant de souche de référence. Les isolats ont été séparés de 6 cm, suivant le diamètre des boîtes de Pétri (**Figure 2**). Les boîtes ont ensuite été incubées à l'obscurité pendant 10 jours à 25 °C. Puis, à l'aide d'une aiguille lancéolée, un prélèvement de thalle a été effectué dans la zone de contact des fronts de croissance des deux thalles et déposé sur une lame dans une goutte de bleu de coton et recouvert d'une lamelle, puis observé au microscope optique au grossissement G X 400. Les observations ont porté sur la présence ou l'absence d'oospores en rapport avec le type de signe sexuel.

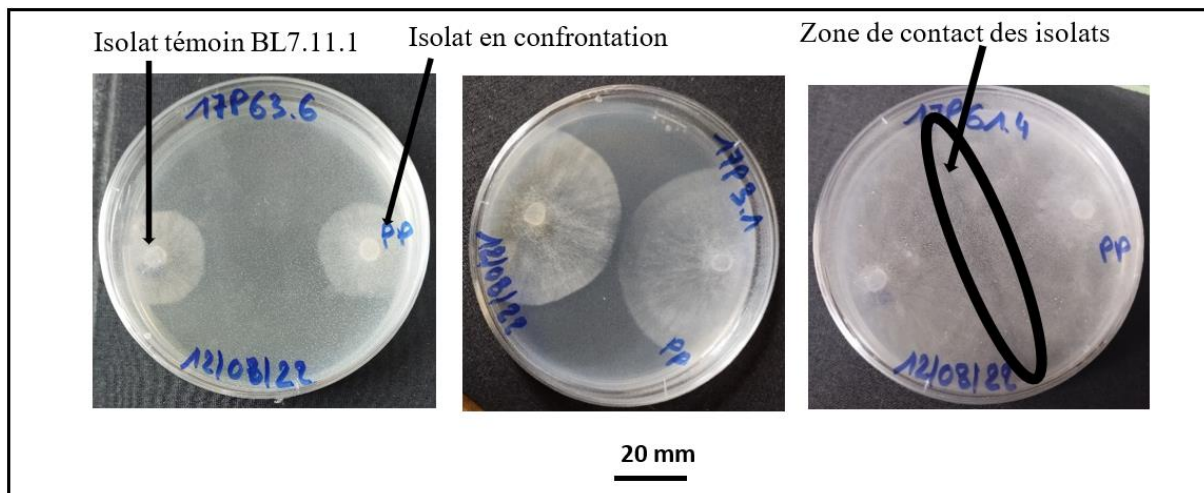


Figure 2 : Croissance mycélienne des isolats au cours de la confrontation

2-8. Analyses statistiques

Toutes les données collectées ont été analysées à l'aide du logiciel Xlstat version 2014. La statistique descriptive à savoir les moyennes et écart-types, ainsi que les tableaux et graphiques ont été réalisés avec Excel. Une analyse en composantes principales (ACP) a également été réalisée pour la répartition des isolats selon leurs critères morphologiques. Les tests de Mann-Whitney et de Kruskal Wallis ont été utilisés pour vérifier la différence entre les groupes. La distribution des espèces de *Phytophthora* spp dans l'espace a été réalisée à l'aide du logiciel QGIS version 3.20.1.

3. Résultats

3-1. Incidence de la pourriture brune des cabosses sur la production

Les pertes de récolte dues à la pourriture brune des cabosses de cacaoyer ont varié de 14,16 % à 33,75 % avec une moyenne de 21,70 % du potentiel de récolte pour la zone d'étude. Les pics de pourritures apparaissent dans les mois d'Avril et Octobre où l'incidence excède les 30 % dans la plupart des exploitations visitées (**Figure 3**). La variation de l'incidence de la pourriture brune des cabosses d'une exploitation à une autre n'est pas significative ($p > 0,05$). Par ailleurs, une différence significative au seuil de 5 % ($p = 0,0003$) entre les mois pour l'incidence de la maladie a été observée. La courbe d'évolution de la pluviométrie a indiqué deux pics correspondant aux épisodes pluvieux. Le premier pic (plus grand) a été obtenu dans la période de mai à juin et le deuxième dans la période d'octobre.

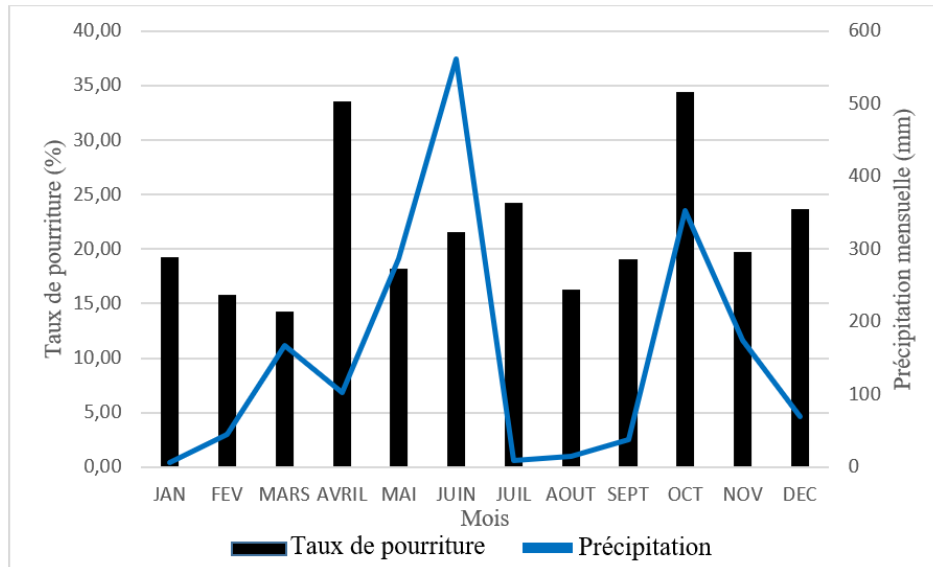


Figure 3 : Incidence mensuelle de la pourriture brune des cabosses de cacaoyer dans le département d'Aboisso

3-2. Caractéristiques macroscopiques des isolats de *Phytophthora* spp

L'étude morpho-culturale des différents isolats a révélé trois morphotypes illustrés à la **Figure 4**. Ces morphotypes ont été caractérisés par un faciès strié et radié, clairsemé ou cotonneux avec un front de croissance régulier et uniforme. Pour l'ensemble des isolats observés, la vitesse de croissance journalière a varié de 7,50 à 13,33 mm/jour avec une moyenne de $10,70 \pm 3,20$ mm/j (**Figure 5**). Le test de Kruskal-Wallis donne une p-value $p = 0,003$. Ce résultat montre qu'il existe une différence significative entre les vitesses de croissance observées. Ainsi, deux groupes se sont distingués. L'un est caractérisé par des isolats ayant une vitesse moyenne de croissance supérieure à 13 mm/j et l'autre par des isolats dont la vitesse de croissance a varié de 7,5 à 12,5 mm/j avec une moyenne de 10,08 mm/j (**Figure 5**).

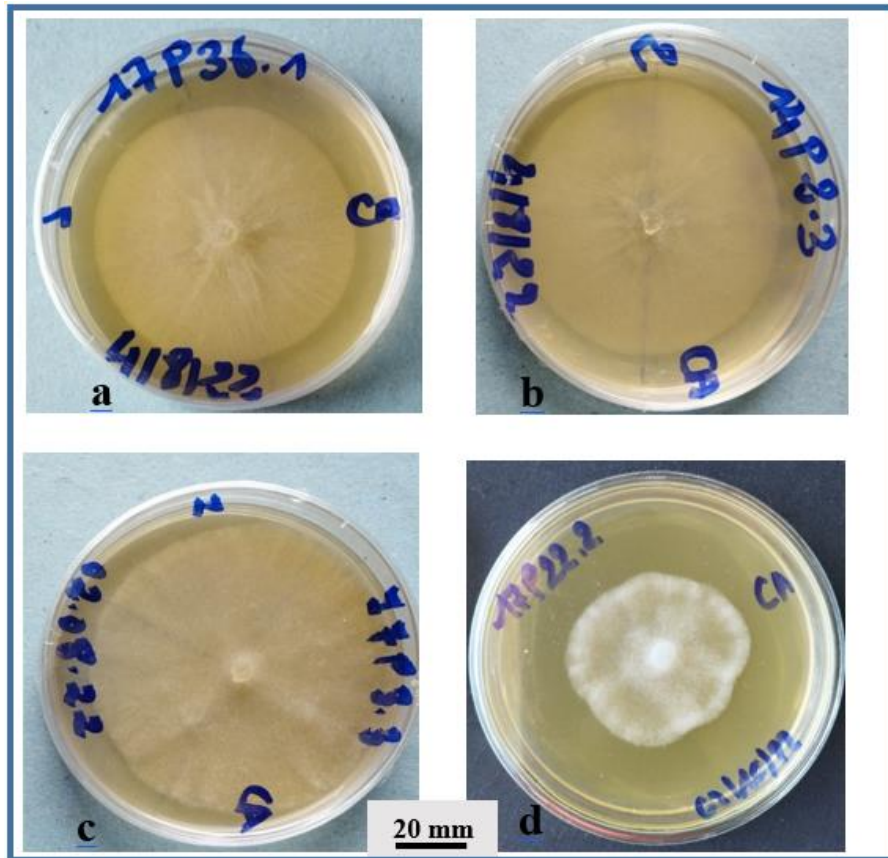


Figure 4 : Différents morphotypes présentés par les isolats de *Phytophthora* spp
a : Thalle strié, radié à faciès stellé ; *b* : Thalle strié radié, clairsemé ; *c-d* : thalle cotonneux

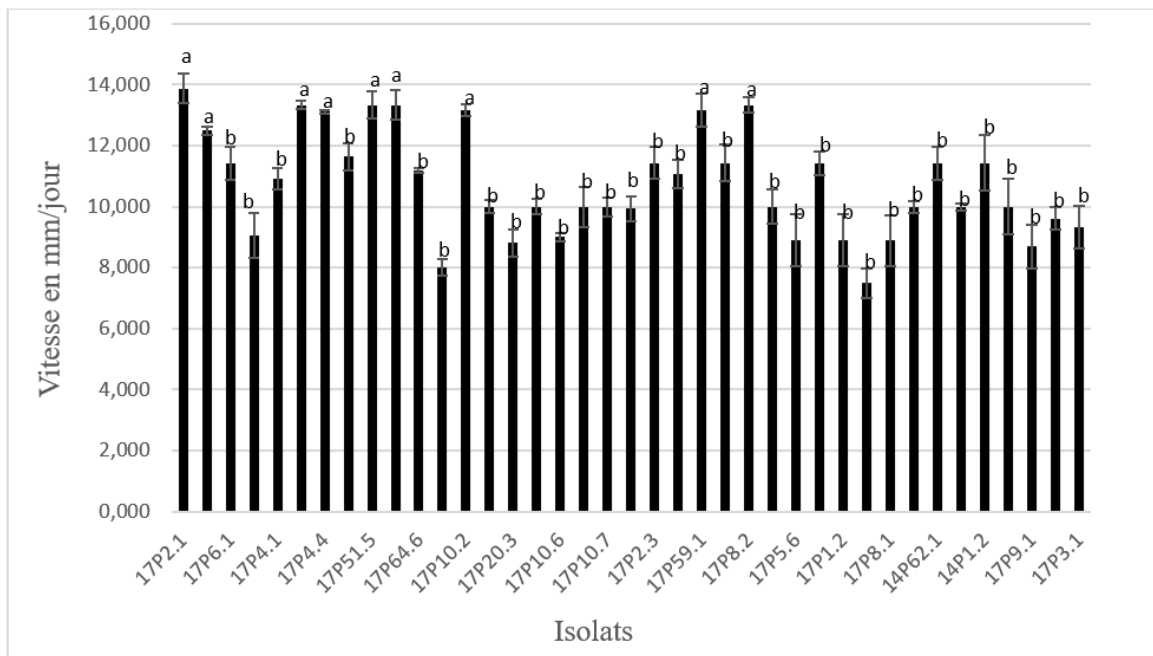


Figure 5 : Vitesse de croissance moyenne des isolats de *Phytophthora* spp

Les bandes suivies de la même lettre ne sont significativement différentes selon le test de Kruskal Wallis au seuil de signification de 5 %.

3-3. Caractéristiques microscopiques des isolats de *Phytophthora* spp

L'étude microscopique des isolats a porté sur les caractères morphométriques des sporocystes. Les formes de sporocystes observées étaient diverses allant de la forme ovoïde à obpyriforme. La longueur des sporocystes a varié de 23 à 39 μm avec une moyenne de $30,72 \pm 7,62 \mu\text{m}$. Quant à la largeur des sporocystes, elle a varié de 16,60 à 23,50 μm avec une moyenne $20,16 \pm 3,20 \mu\text{m}$. Tout comme les variables suscitées, la longueur du pédicelle a varié de 2 à 10 μm . Toutes les variables soumises au test de Kruskal Wallis ont montré une différence significative ($p < 0,0001$) au seuil de 5 %.

3-4. Polarité sexuelle des isolats de *Phytophthora* spp

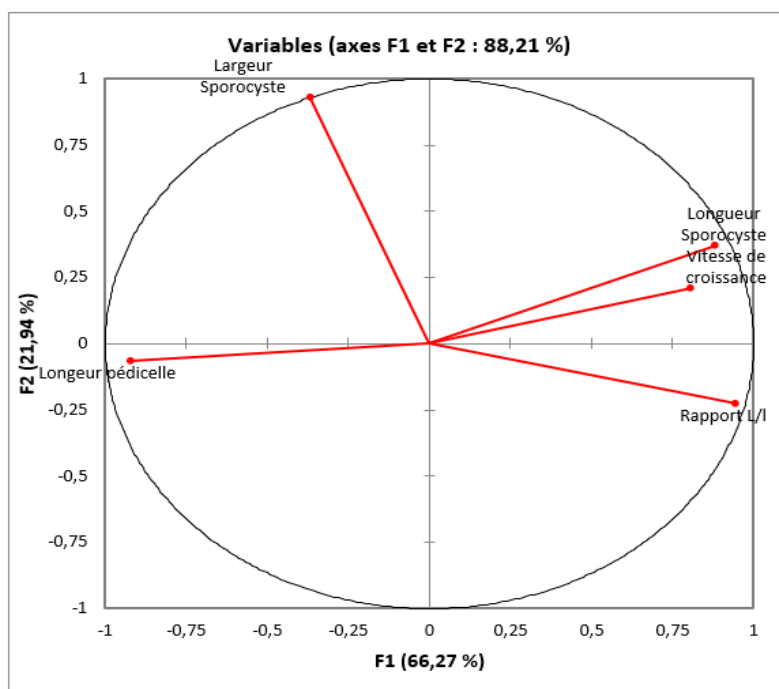
L'étude de la polarité sexuelle a révélé l'existence de deux types sexuels au sein des isolats. En effet, 19 % des isolats mis en confrontation avec la souche de référence BL7.11.2 de *Phytophthora palmivora* de signe sexuel A2 ont produit après fécondation, des oospores (amphigyne ou paragyne). Ces isolats ont été désignés comme étant de signe sexuel A1 et donc apparentés à l'espèce *P. megakarya* contre 81 % des isolats, où aucun signe de fécondation n'a été observé et désigné de signe sexuel A2 comme le témoin (*Phytophthora palmivora*).

3-5. Identification des espèces (Corrélation entre les variables morphométriques)

Dans le but de regrouper les isolats de *Phytophthora* selon leurs caractères morphologiques, une analyse en composantes principales a été réalisée. Les variables prises en compte étaient : la vitesse de croissance, la longueur du sporocyste, la largeur du sporocyste et la longueur du pédicelle. Les deux premiers facteurs générés par l'ACP ont exprimé 88, 21 % de la variabilité de l'échantillon avec une contribution propre de 66,27 % et 21,94 % respectivement pour les facteurs 1 et 2 (**Tableau 1**). La projection des variables dans le plan a montré que la vitesse de croissance, la longueur des sporocystes et la longueur du pédicelle sont mieux exprimées par le premier facteur. Alors que seule la largeur des sporocystes s'est plus exprimée sur le deuxième axe (**Figure 6**). La projection des observations et des variables dans le plan fait ressortir deux groupes distincts de populations (**Figure 7**). Le premier groupe 1, est caractérisé par des isolats dont la vitesse de croissance moyenne a été de $9,40 \pm 1,9 \text{ mm/j}$, avec une longueur et largeur des sporocystes variant respectivement de 23,10 à 31,07 μm et de 16,5 à 22,85 μm . La longueur moyenne du pédicelle a été de $8,21 \pm 1,16 \mu\text{m}$. Ce groupe a renfermé les isolats de type sexuel A1 et a représenté 18 % des échantillons collectés. Le deuxième groupe est composé des isolats dont la vitesse de croissance moyenne a été de 11,82 mm/j, la longueur et la largeur des sporocystes variant respectivement de 29,60 à 39,10 μm et de 17,20 à 23,50 μm avec des moyennes respectives de $33,58 \pm 3,98 \mu\text{m}$ et $19,82 \pm 2,62 \mu\text{m}$. Le rapport longueur / largeur a varié de 1,40 à 1,98 avec une moyenne de 1,73 et une longueur moyenne du pédicelle de 2,10 μm (**Tableaux 2 et 3**). Ce groupe a constitué 82 % des échantillons collectés. Le groupe 1 s'est distingué principalement du groupe 2 par le rapport longueur / largeur et la longueur du pédicelle. En effet, le test F de Fisher réalisé sur les variables n'a montré de différences significatives que pour les variables rapport longueur/largeur et longueur du pédicelle au seuil de 5 %. Par ailleurs, les isolats de ce groupe sont caractérisés par un morphotype cultural à faciès cotonneux, avec un front de croissance régulier et uniforme. Sur la base des deux groupes d'isolats observés et selon leur origine géographique, une cohabitation des deux espèces a été observée dans le département d'Aboisso. En effet, en dehors de la sous-préfecture d'Adaou où l'espèce *P. palmivora* est présente à 100 %, toutes les autres sous-préfectures visitées sont colonisées par les deux espèces. Ainsi, la sous-préfecture de Maféré est dominée par l'espèce *P. megakarya* avec une proportion de l'ordre de 75 % contrairement aux sous-préfectures d'Aboisso et d'Ayamé, qui sont dominées par l'espèce *P. palmivora* avec les proportions respectives de 87 % et 88 % (**Figure 8**).

Tableau 1 : Contribution des facteurs et corrélation des variables-facteurs

	F1	F2	F3
<i>Valeur propre</i>	3,314	1,097	0,398
<i>Variabilité (%)</i>	66,271	21,935	7,961
<i>% cumulé</i>	66,271	88,206	96,166
<i>Vitesse de croissance</i>	0,809	0,209	-0,548
<i>Longueur Sporocyste</i>	0,883	0,369	0,227
<i>Largeur Sporocyste</i>	-0,366	0,928	0,065
<i>Rapport L/l</i>	0,947	-0,227	0,164
<i>Longueur pédicelle</i>	-0,921	-0,064	-0,120

**Figure 6 : Projection des variables dans le plan**

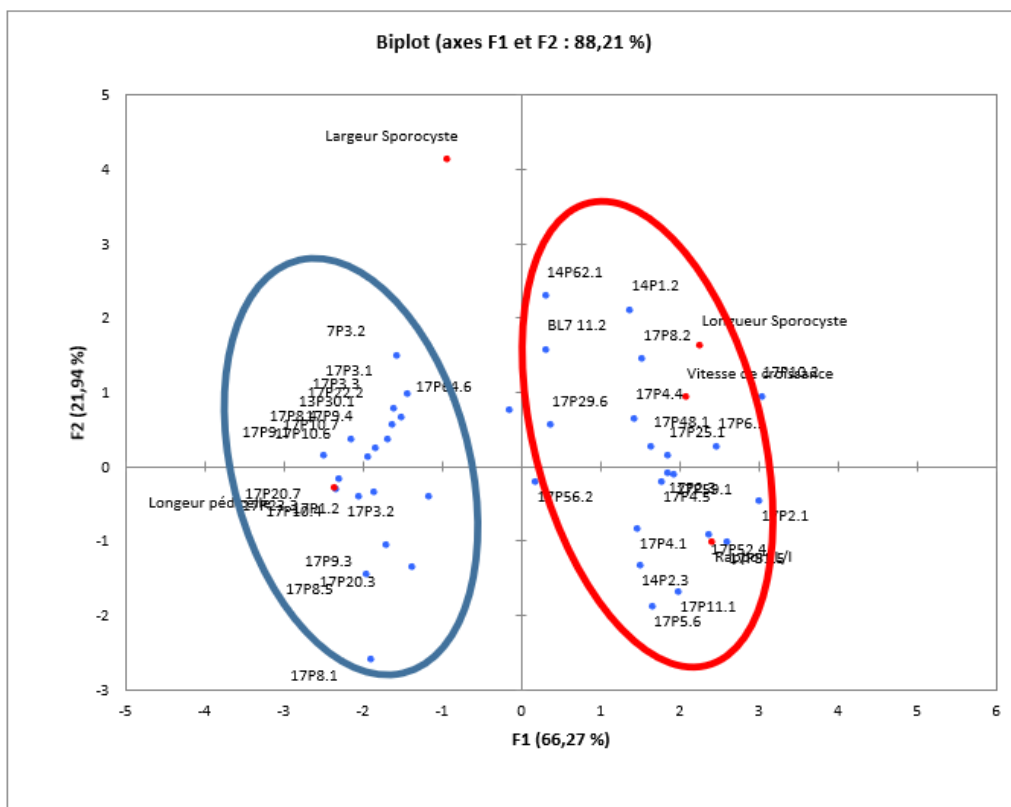


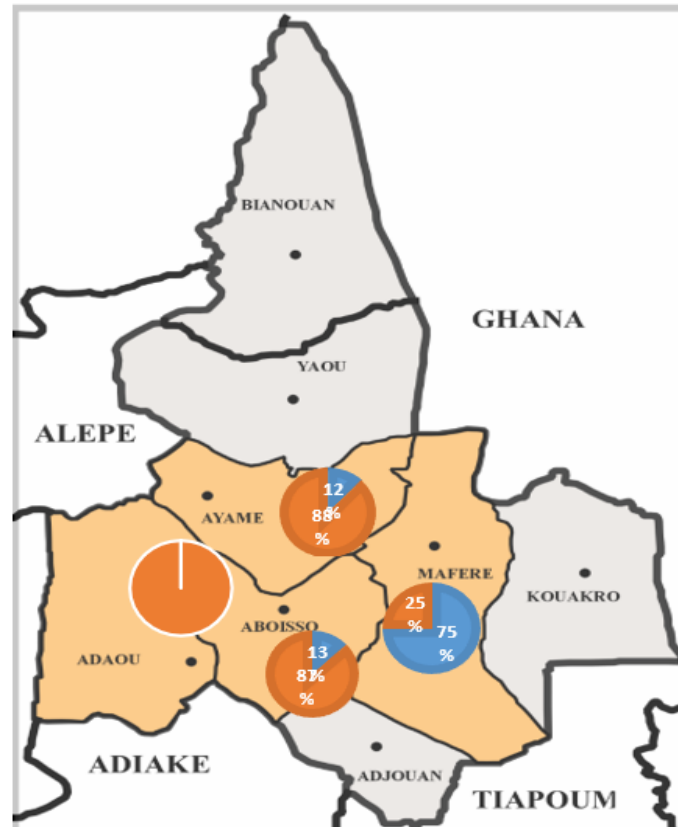
Figure 7 : Projection des variables et des isolats dans le plan

Tableau 2 : Caractéristiques morphométriques des groupes de *Phytophthora spp*

Vitesse de croissance		Longueur des sporocystes		Largeur des sporocystes		Rapport L/l		Longueur pédicelle	
Groupe1	Groupe 2	Groupe1	Groupe 2	Groupe1	Groupe2	Groupe1	Groupe2	Groupe1	Groupe2
9,81	13,33	31,07	36,1	21,73	18,45	1,43	1,98	10,8	2,1
8,00	11,36	26,85	34,2	20,6	19,35	1,34	1,8	8,65	1,95
10,00	11,43	27,45	37,6	21,2	19,8	1,31	1,92	7,45	1,85
8,81	12,18	27,3	31,15	18,65	18,4	1,48	1,71	7,7	2,1
10,00	13,33	28,2	33,15	19,9	19,6	1,43	1,7	7,45	2,2
9,88	13,10	27,3	32,35	20,9	20,55	1,32	1,61	8,9	1,85
10,00	13,08	27	33,15	21,3	18	1,28	1,87	9,4	2,15
10,00	13,33	27,05	33,4	21,05	17,75	1,29	1,90	7,85	2
7,64	13,33	27,4	32,6	20,40	19,85	1,36	1,66	7,05	2,23
10,00	11,18	28,05	29,6	21,5	21,3	1,32	1,40	7,45	2,75
11,43	13,17	27,7	39,1	21,45	20,45	1,30	1,93	8,5	2
10,00	11,43	25,4	34,6	19,05	19,50	1,35	1,81	8,05	1,95
8,89	13,17	27,85	33,15	20,25	19,25	1,39	1,743	8,85	2,25
7,50	13,33	27,45	34	20,85	21,65	1,33	1,59	7,85	1,85
8,89	8,89	23,1	33,15	16,9	17,25	1,38	1,96	7,6	1,75
10,00	11,43	30,75	31,25	22,85	17,8	1,35	1,79	8,75	2,4
8,89	11,43	26,1	33,05	21,20	23,5	1,24	1,43	8,5	1,88
8,89	10,00	25,15	30,05	18,65	19,89	1,36	1,52	8	1,92
10,00	11,14	29,35	32,4	22,05	17,2	1,34	1,91	7,25	2
	11,43		37,2		22,8		1,64		2,1
	10,00		34,15		22,5		1,53		2,58
	10,00		33,45		21		1,62		2,40

Tableau 3 : Caractéristiques des différents groupes

	Vitesse moyenne	Longueur Sporocyste	Largeur Sporocyste	Rapport L/l	Longueur pédicelle	Morphotype
Groupe 1	9,40 ^a	27,40 ^a	20,55 ^a	1,35 ^a	8,21 ^a	Cotonneux, contour régulier et uniforme
Groupe 2	11,87 ^a	33,58 ^a	19,82 ^a	1,73 ^b	2,10 ^b	Thalle strié et radié à faciès stellé ou clairsemé

**Figure 8 : Carte de distribution des espèces de *Phytophthora* dans le département d'Aboisso**

4. Discussion

La pourriture des cabosses de cacaoyer due à *Phytophthora* spp. continue de faire des dégâts dans la cacaoiculture ivoirienne. L'évaluation de l'incidence de la maladie sur la production de cacao dans le département d'Aboisso a indiqué un taux de perte de récolte de 21,70 % et une différence non significative de l'incidence d'une exploitation à une autre ($p > 0,05$) pour la campagne 2021. Cette absence de variation d'une exploitation à une autre montre que, la progression de la maladie dans les plantations voire dans les localités serait le fait des infections secondaires qui sont plus souvent dérivées des infections primaires que d'autres infections. En outre, cette observation suggère que la progression de la maladie dans le temps serait due au fait que l'inoculum secondaire provoque principalement l'auto-infection mais ne parvient pas à se disséminer entre les exploitations. Cela confirmerait ainsi, l'hypothèse de [29], qui ont démontré que l'inoculum primaire est le principal facteur qui favorise le développement d'une épidémie au fil du temps au niveau de la plantation. Toutefois, une différence significative a été observée entre les mois. Cette différence d'intensité de la maladie entre les mois s'expliquerait par la variabilité de la distribution des précipitations

et ainsi des hauteurs de pluies tombées. En effet, selon [20], la dispersion de *Phytophthora* se fait essentiellement selon les épisodes pluvieux. Les pics par endroit correspondant aux taux les plus élevés de la maladie seraient étroitement liés aux pluies qui favoriseraient l'installation et le développement de l'épidémie [30]. Les mois d'avril et d'octobre paraissent ainsi être les mois où la pourriture brune sévit le plus avec un taux moyen de cabosses infectées qui excède les 30 % dans la plupart des plantations visitées. Une étude réalisée dans le même département a enregistré un taux avoisinant celui observé pour cette campagne [19]. Les caractéristiques morpho-culturelles observées dans la présente étude ont donné des thalles striés et radiés à faciès stellé avec mycélium aérien moyennement abondant concentrique et des thalles présentant un aspect cotonneux. Les fronts de croissance des différents isolats étaient réguliers et uniformes. Les mêmes caractéristiques morpho-culturelles ont été observées par une étude similaire avec une plus grande diversité de faciès [12]. La longueur (23-39 μm) et la largeur (16,60 - 23,50 μm) des sporocystes emportaient un pédicelle compris entre 2-10 μm avec un rapport longueur/largeur variant de 1,24 à 1,98. A l'exception du rapport longueur/largeur, qui semble être proche des valeurs obtenues par des auteurs, les autres variables ont présenté des valeurs différentes. Cette différence serait due à la diversité écologique liée à l'origine des isolats étudiés [12]. En effet, les variations de tailles observées entre ces différentes études pourraient être dues à l'hôte, à l'âge de la culture et aux conditions environnementales [31]. L'existence d'une différence significative suppose que notre échantillon est composé de populations hétérogènes. La confrontation des isolats à la souche BL7.11.2 a abouti à la formation d'oospores chez 19 % des isolats confirmant ainsi l'hétérothallisme des isolats étudiés. Ce résultat est corroboré par d'autres études [32]. Selon ces auteurs, les espèces de *Phytophthora palmivora* et *megakarya* sont hétérothalliques avec une anthéridie de forme amphigyne. Une caractéristique relativement répandue chez *Phytophthora* est l'aptitude à l'hybridation interspécifique [33].

Cette capacité de *Phytophthora* à une fécondation interspécifique donne à ces organismes un grand potentiel d'adaptation et la possibilité de développer des mécanismes de résistance aux différentes méthodes de lutte fongique appliquées en cacaoculture. L'analyse en composantes principales réalisée sur la croissance mycélienne, la longueur et la largeur des sporocystes, le rapport longueur/largeur ainsi que la longueur du pédicelle a abouti à la mise en évidence de deux groupes de populations distinctes. Les valeurs obtenues concordent avec celles d'études antérieures [32, 34]. Sur la base des critères de classification de ces auteurs, le groupe 1 de notre échantillon serait apparenté à l'espèce *Phytophthora megakarya* et le groupe 2 à l'espèce *Phytophthora palmivora*. En effet, selon ces auteurs, les sporocystes de *P. megakarya* ont des dimensions approximatives de 20-60 x 13-41 μm avec une moyenne de 36 x 25 μm pour un rapport L/l moyen de 1,4 (1,2-1,6). Ceux de *P. palmivora* quant à eux ont mesuré 29-115 x 13-46 μm de long, avec une moyenne de 36-52 x 23-29 μm pour un rapport L/l compris entre 1,2-2,0. Ce chevauchement des caractéristiques morphologiques chez certaines espèces du genre *Phytophthora* a été rapporté par certains auteurs [5 - 7]. Quant à la longueur du pédicelle, elle apparaît comme un critère morphologique stable et distinctif des espèces de *Phytophthora*. Ainsi, le groupe 1 caractérisé par un pédicelle long ($8,21 \pm 1,16 \mu\text{m}$) et un rapport L/l ($< 1,5$) est identifié comme l'espèce de *P. megakarya*. De plus, le thalle à faciès cotonneux est une caractéristique morphoculturelle spécifique à *P. megakarya*. Le groupe 2 peut être attribué à l'espèce de *P. palmivora*. En effet, ce groupe est caractérisé par des isolats ayant un pédicelle court ($< 5 \mu\text{m}$) et un rapport L/l ($> 1,5$). La répartition des espèces dans l'espace montre qu'en dehors de la sous-préfecture d'Adaou, toutes les autres localités visitées sont colonisées par les deux espèces avec une dominance de *P. palmivora* dans la plupart des localités. Toutefois, la proportion importante de *P. megakarya* dans la localité de Maféré conforte l'hypothèse selon laquelle *P. megakarya*, l'espèce la plus agressive n'a pas atteint son stade ultime de progression dans le verger cacaoyer ivoirien avec pour conséquence, une recomposition de la structure des populations de *Phytophthora* [16].

5. Conclusion

La présente étude menée dans le département d'Aboisso avait pour objectif d'analyser la distribution spatio-temporelle des espèces de *Phytophthora* spp., responsables de la pourriture brune des cabosses de cacaoyer. Il ressort de cette étude que la pourriture brune continue d'occasionner des pertes de rendements dans ce département. Les caractéristiques morphoculturales et microscopiques ont permis de mettre en évidence la présence de deux espèces de *Phytophthora* spp., responsables de la pourriture brune dans le département d'Aboisso. Sur la base de la longueur et la largeur des sporocystes, de la longueur du pédicelle ainsi que du rapport longueur / largeur, les espèces de *Phytophthora palmivora* et *Phytophthora megakarya* ont été identifiées comme agents responsables de la pourriture brune dans la zone d'étude. L'espèce *P. megakarya* est caractérisée par des isolats à pédicelle long de 8,21 μm avec un rapport longueur/largeur inférieur à 1,5. *P. palmivora* est quant à elle, caractérisée par un pédicelle plus court ($< 5 \mu\text{m}$) avec un rapport longueur/largeur proche de 2. Une cohabitation des deux espèces a été signalée dans toutes les localités visitées en dehors de la sous-préfecture d'Adaou où seule l'espèce *P. palmivora* a été identifiée. Les conséquences épidémiologiques de cette cohabitation et les interactions interspécifiques recueillies dans cette étude seront utiles pour élaborer un modèle de prévision ainsi qu'un système d'aide à la décision permettant de concevoir et de mettre en œuvre des stratégies de lutte contre la maladie.

Références

- [1] - CERESCO, Etude sur les segments amont et aval du marché agricole de la Côte d'Ivoire. France, (2020) 61 p.
- [2] - ICRAF, Présentation du projet Vision For Change, 10 p.
- [3] - ICCO, What are the effects of intensive commercial production of cocoa on the Environnement ? Westgate House W5 1YY, United Kingdom. Rapport Annuel. ICCO, (2015) 25 p.
- [4] - B. I. KEBE, N. KOFFI, A. KONAN, K. F. N'GUESSAN, J. N'GORAN et B. Z. IRIE, Bien cultiver le cacaoyer. Fiche technique. Centre National de Recherche Agronomique, (2006) 4 p.
- [5] - P. K. HEBBAR, Cacao diseases : A global perspective from an industry point of view. *Phytopathology*, 97 (2007) 1658 - 1663
- [6] - G. B. NKAMLEU, J. NYEMECK, J. GOCKOWSKI, Technology Gap and Efficiency in Cocoa Production in West and Central Africa: Implications for Cocoa Sector Development., African Development Bank, Tunis, Working Papers Series, N° 104 (2010)
- [7] - A. A. ASSIRI, E. A. KACOU, F. A. ASSI, S. EKRA, K. F. DJI, J. Y. COULOU, A. R. YAPO, Rentabilité économique des techniques de réhabilitation et de replantation des vieux vergers de cacaoyers (*Theobroma cacao* L.) En Côte d'Ivoire. *J. Anim. Plant Sci.*, 14 (2) (2012) 939 - 1951
- [8] - H. DZAHINI-OBIALEY, D. OWUSU et F. M. AMOAH, Over seventy years of a viral disease of cocoa in Ghana : From researchers' perspective. *African Journal of Agricultural Research*, Vol. 5 (7) (2010) 476 - 485 p.
- [9] - B. I. KÉBÉ, N. KOFFI, A. KONAN, K. F. N'GUESSAN, J. N'GORAN et B. Z. IRIÉ, Bien cultiver le cacaoyer. Fiche technique. Centre National de Recherche Agronomique, (2005) 4 p.
- [10] - G. M. TAHI, B. I. KEBE, C. CILAS et A. B. ESKES, Facteurs affectant la résistance foliaire du cacaoyer (*Theobroma cacao* L.) à *Phytophthora palmivora* et sa corrélation avec la résistance des cabosses. Communication à la 14^è Conférence internationale sur la recherche cacaoyère. San José, Costa Rica., (Octobre 2006)
- [11] - A. A. ASSIRI, Identification des pratiques paysannes dans la conduite des vergers de cacaoyers en Côte d'Ivoire. Mémoire de DEA. UFR des sciences de la terre et des ressources minières. Université de Cocody Abidjan, (2007) 62 p.

- [12] - K. COULIBALY, B. I. KEBE, K. N. KOFFI, J. MPIKA, D. KONE, Caractérisation des isolats de *Phytophthora* spp du verger cacaoyers de Cote d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, 70 (2013) 5567 - 5579 ISSN 1997 - 5902
- [13] - K. D. KOUAME, Structure et dynamique des populations de *Phytophthora* sp., agent de la pourriture brune des cabosses de cacaoyer (*Theobroma cacao* L) en Côte d'Ivoire. Mémoire de DEA. UFR Biosciences. Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, (2006) 74 p.
- [14] - K. COULIBALY, Etude de la structure des populations de *Phytophthora* spp, agent de la pourriture brune des cabosses de cacaoyers (*Theobroma cacao* L.) en Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat unique de l'UFR Biosciences, Université Félix Houphouët Boigny de Cocody- Abidjan, Côte d'Ivoire, (2014) 190 p.
- [15] - J. MPIKA, B.I. KEBE, S.I. DRUZHININA, M. KOMON-ZELAZOWSKA, P.C. KUBICEK & S. AKE, Inhibition de *Phytophthora palmivora*, agent de pourriture brune des cabosses de cacaoyer en Côte d'Ivoire, par *Trichoderma* sp. *Sciences & Nature*, Vol. 6, N°1 (2009) 49 - 62
- [16] - C. V. MFEGUE, Origine et mécanismes de dispersion des populations de *Phytophthora megakarya*, pathogène du cacaoyer au Cameroun. Thèse de docteur Université de Montpellier SUPAGRO. France, (2012) 186 p.
- [17] - M. O. OPOKU-AGYEMAN, G. J. ANIM-KWAPONG, F. OWUSU-ANSAH, Evaluation of cacao in fruit tree species' shade system in Ghana. *International Symposium on Cocoa Research (ISCR)*, Lima, Peru, 13-17 (November 2017) 1 - 4
- [18] - D. M. M. NDOUNGUE, Origine et modes de dispersion des épidémies dues à *Phytophthora megakarya* dans les systèmes de cacaoiculture innovants au Cameroun. Thèse de docteur Université de Montpellier SUPAGRO. France, (2020) 196 p.
- [19] - J. POHE, J. D. MIAN et S. F. F. OKOU, Dynamique spatio-temporelle de la pourriture brune des cabosses de cacaoyer due à *phytophthora* sp. dans le département d'Aboisso (Côte d'Ivoire). *Journal of Applied Biosciences*, 145 (2020) 14842 - 14852 ISSN 1997-5902
- [20] - M. NDOUMBÈ-NKENG, C. CILAS, E. NYEMB, S. NYASSE, A. FLORI et I. SACHE, Impact of removing disease pods on cacao black pod caused by *Phytophthora megakarya* and on cacao production in Cameroon. *Crop Protection*, 23 (5) (2004) 415 - 424
- [21] - P. DEBERDT, C. V. MFEGUE, P. R. TONDJE, M. C. BON, M. DUCAMP, C. HURARD, B. A. D. BEGOUDE, M. NDOUMBE-NKENG, P. K. HEBBAR et C. CILAS, Impact of environmental factors, chemical fungicide and biological control on cocoa pod production dynamics and black pod disease (*Phytophthora megakarya*) in Cameroun. *Biological Control*, 44 (2008) 149 - 159
- [22] - S. G. EBLIN, A. B. YAAO, K. A. ANOH et N. SORO, Cartographie de la vulnérabilité multifactorielle aux risques d'érosion hydrique des sols de la région d'adiaké, sud-est côtier de la Côte d'Ivoire. *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, 30 (2017) 197 - 216 ISSN 1813-3290, <http://www.revist.ci>
- [23] - M. L. O. KOUAME, M. W. EGNANKOU et D. TRAORE, Ordination et classification de la végétation des zones humides du sud-est de la Côte d'Ivoire. *Agronomie africaine*, 21 (1) (2009) 1 - 13
- [24] - D. DESPREAUX, Etude de la pourriture brune des cabosses du cacaoyer au Cameroun. Deuxième partie : contribution à l'étude de la maladie, groupe de recherche sur les maladies à *Phytophthora* sp. du cacaoyer. In : IRA (ed.) *10ème Conférence Internationale sur la Recherche Cacaoyère*. Santo Domingo, République Dominicaine, (1984) 407 - 412
- [25] - D. BERRY, C. CILAS, Etude génétique de la réaction à la pourriture brune des cabosses chez des cacaoyers (*Theobroma cacao* L.) issus de croisements diallèles. *Agronomie tropicale*, 14 (1994) 599 - 609
- [26] - Z. O. DIANDA, I. WONNI, D. FERNANDEZ, T. C. ZOMBRE, S. L. OUEDRAOGO, P. SANKARA, Caractérisation de *Lasiodiplodia theobromae* (Pat.) Griffon & Maubl. Agent pathogène associé au dessèchement du manguier au Burkina Faso. *Science de la vie, de la terre et agronomie*, Vol. 08, N°02 (2020) ISSN 2424 - 7235

- [27] - D. J. STAMPS, G. M. WATERHOUSE, F. J. NEWHOOK and G. S. HALL, Revised tabular key to the species of the *Phytophthora*, Mycological papers 162, CAB *International Mycological Institute*, Kew, London, (1990) 28 p.
- [28] - M. C. GALLEGLY, C. HONG, *Phytophthora : Identifying Species by Morphology and DNA Fingerprints*. APS Press - *The American Phytopathological Society*, ISBN 978-0-89054-364-1 St. Paul, Minnesota, (2008) 158 p.
- [29] - G. M. TEN HOOPEN, O. SOUNIGO, R. BABIN, G. YÉDÉ DIKWE and C. CILAS, Spatial and temporal analysis of a *Phytophthora megakarya* epidemic in a plantation in the Centre of Cameroon. In : *16th International Cacao Research Conference*, Bali, Indonesie, 16 - 21 (Nov 2009)
- [30] - J. POHE, J. KOULA, G. R. RABE, L. DEZAI, Agressivité de la pourriture brune des cabosses de cacaoyer dans le sud-est de la Côte d'Ivoire. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 20 (2) (2013) 3126 - 3136 ISSN 2071-7024
- [31] - A. DRENTH and B. SENDALL, Practical guide to detection and identification of *Phytophthora*. CRC for Tropical Plant Protection, Brisbane, Australia, (2001) 41 p.
- [32] - F. N. MARTIN, Z. G. ABAD, Y. BALCI & K. IVORS, Identification and detection of *Phytophthora*: Reviewing our progress, identifying our needs. *Plant Disease*, 96 (8) (2012) 1080 - 1102
- [33] - R. IOOS, B. BARRES, A. ANDRIEUX, P. FREY, Characterization of microsatellite markers in the interspecific hybrid *Phytophthora alni* ssp *alni*, and cross amplification with related taxa. *Molecular Ecology Notes*, 7 (2007) 133 - 137
- [34] - L. A. GERETTSON-CORNELL, Compendium and classification of the species of the genus *Phytophthora* de Bary by the canons of traditional taxonomy. *Technical paper-Forestry Commission of New South Wales*, N° 45 (1994) 87 p.
- [35] - A. A. APPIAH, Variability of *Phytophthora* species causing black pod disease of cocoa (*Theobroma cacao* L.) and implications for assessment of host resistance. PhD thesis London, UKb: University of London, (2001) 227 p.