



Analyse spatiale et facteurs de dispersion de la verticilliose du cacaoyer dans les zones agroécologiques de Beni et Mambasa (Nord Kivu et Ituri, RDC)

[Spatial analysis and factors influencing the spread of verticillium wilt in cocoa plantations in the agroecological zones of Beni and Mambasa (North Kivu and Ituri, DRC)]

Jérémie Kambale Basyo^{1*}, Guelor Kasereka³, Yedidya Elikya Musangania², Joseph Miji Bulabula¹, Luc Lukanda Tshilenge¹ & Marcel Manyi Muengula¹

¹Université de Kinshasa, Faculté des Sciences Agronomiques et Environnement, Mention Production Végétale, Kinshasa, RDC

²Université Catholique du Graben, Faculté des Sciences Agronomiques, Mention Production Végétale, Butembo, RDC

³Université de Kinshasa, Faculté des Sciences Agronomiques et Environnement, Mention Technologie des Industries Agroalimentaires, Kinshasa

Résumé

La verticilliose du cacaoyer, causée par *Verticillium dahliae*, constitue une menace émergente pour la filière cacao en République Démocratique du Congo (RDC). Cette étude a évalué l'incidence et la sévérité de la maladie dans 90 plantations réparties sur six axes et 18 villages des territoires de Beni et Mambasa. Les analyses statistiques ont été adaptées à la nature des données : le test de Shapiro-Wilk pour la normalité, le test de Levene pour l'homogénéité des variances, suivi du test non paramétrique de Kruskal-Wallis. Les comparaisons multiples ont été réalisées à l'aide du test de Dunn avec correction de Benjamini-Hochberg. Les résultats montrent une hétérogénéité spatiale significative (Kruskal-Wallis, $\chi^2=38,473$, $df=17$, $p=0,0021$), avec des foyers majeurs dans le village Mikwata ($1,85 \pm 0,58$) : axe Makumo, village Makumbise ($1,77 \pm 0,71$) : axe Makumo et dans village Kamirihhi ($1,78 \pm 0,95$) : axe Mbau, tandis que les foyers mineurs ont été enregistrés dans le village Kisanga ($0,41 \pm 0,36$) : axe Mutwanga, village Kazebere ($0,45 \pm 0,14$) : axe Kazebere et dans le village Vusivwameso ($0,52 \pm 0,20$) : axe Kazebere. Une corrélation négative significative entre l'altitude et l'incidence ($\rho = -0,39$; $p < 0,001$) indique un effet modulateur des facteurs topographiques. Ces résultats soulignent la nécessité d'une approche intégrée et spatialisée de la gestion phytosanitaire, ciblant prioritairement les zones de basse altitude.

Mots Clés : *Verticillium dahliae*, *Theobroma cacao*, incidence et sévérité de la maladie, facteur de dispersion spatiale, Beni-Mambasa/RDC.

Abstract

Cocoa verticillium wilt, caused by *Verticillium dahliae*, poses an emerging threat to the cocoa sector in the Democratic Republic of the Congo (DRC). This study assessed the incidence and severity of the disease in 90 plantations spread across six regions and 18 villages in the Beni and Mambasa territories. Statistical analyses were adapted to the nature of the data: the Shapiro-Wilk test for normality, the Levene test for homogeneity of variances, followed by the nonparametric Kruskal-Wallis test. Multiple comparisons were performed using the Dunn test with Benjamini-Hochberg correction. The results show significant spatial heterogeneity (Kruskal-Wallis, $\chi^2 = 38.473$, $df = 17$, $p = 0.0021$), with major clusters in the village of Mikwata (1.85 ± 0.58): Makumo axis, Makumbise village (1.77 ± 0.71): Makumo axis, and in Kamirihhi village (1.78 ± 0.95): Mbau axis, while minor clusters were recorded in Kisanga village (0.41 ± 0.36): Mutwanga axis, Kazebere village (0.45 ± 0.14): Kazebere axis, and in Vusivwameso village (0.52 ± 0.20): Kazebere axis. A significant negative correlation between altitude and incidence ($\rho = -0.39$; $p < 0.001$) indicates a modulating effect of topographic factors. These results underscore the need for an integrated and spatialized approach to plant health management, prioritizing low-altitude areas.

Keywords: *Verticillium dahliae*, *Theobroma cacao*, disease incidence and severity, spatial dispersion factor, Beni-Mambasa/DRC

*Auteur correspondant: Jérémie Kambale Basyo, (jeremie.kambale@unikin.ac.cd). Tél. : (+243) 976172085

<https://orcid.org/0009-0001-5416-4567>; Reçu le 13/03/2026 ; Révisé le 07/04/2026 ; Accepté le 28/04/2026

DOI: <https://doi.org/10.59228/rcst.026.v5.i2.269>

Copyright: ©2026 Basyo et al. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License (CC-BY-NC-SA 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

1. Introduction

La culture du cacaoyer (*Theobroma cacao* L.) constitue une ressource économique majeure dans les zones tropicales, impliquant environ 5,5 millions de petits producteurs et plus de 14 millions de travailleurs ruraux (Fountain & Hütz-Adams, 2015).

La demande mondiale en cacao continue de croître, soutenue par une augmentation constante de la consommation de produits dérivés. En 2022, la production mondiale a atteint environ 5 millions de tonnes, dont près de 73 % provenaient du continent africain (BAD, 2023). Bien que la RDC ne figure pas encore parmi les principaux producteurs mondiaux, elle a exporté 32505 tonnes de cacao en 2022, principalement depuis les zones agroécologiques du Nord-Kivu et de l'ex-Province orientale, où les conditions climatiques sont particulièrement favorables à cette culture (BCC, 2023). Ces chiffres, bien qu'en progression, restent modestes au regard du potentiel agricole du pays, estimé à plus de 100000 tonnes par an selon les projections de l'ONAPAC. Le cacao représente ainsi une opportunité stratégique pour la diversification économique et l'amélioration des revenus ruraux en RDC, à condition que les défis liés à l'insécurité, à la structuration de la filière et à l'accès aux marchés soient surmontés (Koffi, 2025).

La productivité du cacaoyer est sérieusement compromise par divers pathogènes, notamment le champignon *Verticillium dahliae*, agent causal de la verticilliose, une maladie vasculaire difficile à maîtriser. Bien que souvent qualifiée de maladie « mineure » à l'échelle mondiale, la verticilliose peut entraîner des pertes localement sévères, comme observé dans l'ouest de l'Ouganda et le nord-est de la République démocratique du Congo (Bouchon et al., 2022 ; Ploetz, 2016).

En Afrique, bien que la verticilliose soit moins documentée que d'autres maladies du cacaoyer comme le *swollen shoot virus* ou la pourriture brune, elle représente une menace émergente dans les zones agroforestières humides, soulignant la nécessité urgente d'une étude approfondie et contextualisée pour mieux comprendre les mécanismes de dispersion et proposer des stratégies de gestion adaptées (Adeniyi et al., 2020 ; Pautasso et al., 2012). En RDC, les territoires de Beni au Nord-Kivu et Mambasa en Ituri sont des zones cacaoyères en pleine expansion, mais peu d'études ont été menées pour cartographier et quantifier les informations fongiques, notamment la verticilliose. Cette étude a donc pour objectif de déterminer l'ampleur (taux ou niveau d'infection) et la

dispersion de la verticilliose au niveau de l'ensemble des plantations des zones d'étude à partir des données qui ont été recueillies sur l'échantillon. Spécifiquement, l'étude a visé de cartographier la présence de la verticilliose dans les zones cacaoyères de Beni et Mambasa, d'identifier les facteurs de dispersion et les hôtes alternes potentiels du champignon, de proposer des recommandations phytosanitaires basées sur les résultats épidémiologiques.

2. Matériel et méthodes

2.1. Les Milieu

La zone d'étude était située dans deux Territoires (Beni et Mambasa). Le territoire de Beni présente un climat tropical humide (15–20°C), avec des altitudes variant de 870 à 2400 m, culminant à 5000 m au Mont Ruwenzori. Sa superficie est de 7484 Km² dont environ 2 000 Km² constitue le secteur du nord du Park national de Virunga.

Le territoire de Mambasa se trouve dans la partie Sud-Ouest de la province de l'Ituri. Il est bordé par le territoire de Beni au sud (Nord-Kivu), et par les territoires d'Irumu et de Djugu au nord. La présence de groupes armés (notamment dans les forêts) perturbe la vie des habitants et occasionnent des conflits ethniques récurrents exacerbés par les luttes pour le contrôle des ressources naturelles. Cette région jouit d'un climat pluvieux chaud arasant la forêt qui occupe une grande superficie ; possède un sol fertile, cette fertilité du sol favorise la production de différents produits agricoles.

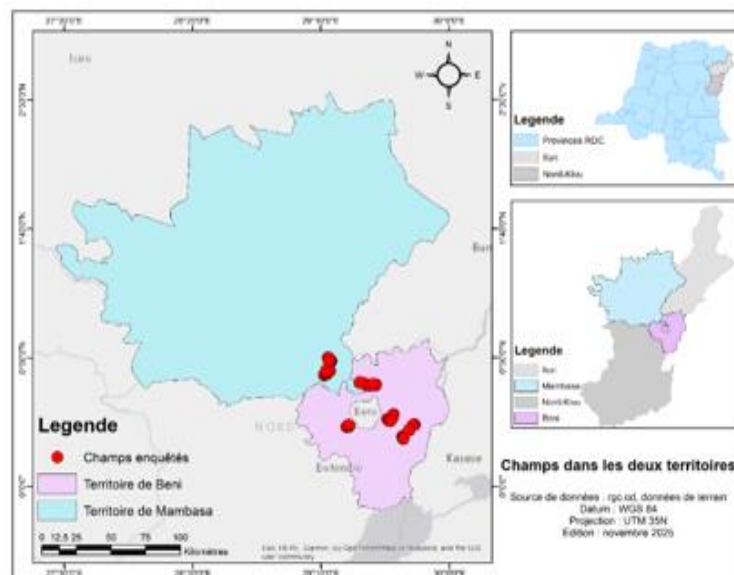


Figure 1. Milieu d'étude et distribution spatiale des champs échantillonnés

2.2. Matériels

Le matériel biologique était constitué des pieds des cacaoyers dans les plantations, par contre les

matériels non biologiques s'agissait de la tablette avec une application KoboCollect pour faciliter d'enregistrer les informations et prélever des coordonnées géographiques sur terrain dans le formulaire préétabli avec KoboToolbox (i), (ii) machettes pour extirper les tiges présentant les symptômes de la verticilliose, (iii) logiciels Microsoft Excel pour l'organisation de la base des données, QGIS pour générer les cartes et R pour les analyses statistiques.

2.3. Méthodes

Se basant sur les normes de la méthodologie dans les études épidémiologiques végétale telles que définies par [Madden et al., 2007](#), le choix des itinéraires de prospection dépendait de la capacité productive reconnue à la zone. La zone d'étude a été définie à partir des données fournies par la société à responsabilité limitée ESCO-KIVU Sarl, active dans la région.

Les itinéraires de prospection ont été définis selon l'accessibilité et la sécurité, entraînant l'exclusion des villages trop éloignés. Ainsi, seuls les domaines cacaoyers situés le long des pistes carrossables ou accessibles à moto ont été retenus. L'objectif était de définir un itinéraire aussi précis que possible afin de recueillir un volume d'informations significatif, dans la mesure où le temps et les moyens disponibles le permettaient.

L'étude s'est appuyée sur les listes d'ESCO-KIVU Sarl recensant toutes les plantations cacaoyères. Elles ont servi de base pour sélectionner les entités cibles, en intégrant la disparité des superficies locales. À partir de ces listes, un tirage au sort a été effectué afin de garantir la comparabilité des groupes, chaque entité ayant la même probabilité d'être sélectionnée.

La détermination des axes d'enquête a été guidée par des critères d'accessibilité et de sécurité. Les villages ont ensuite été sélectionnés au premier degré, en fonction de la taille des plantations et de leur localisation le long des axes choisis. Les plantations ont été tirées au second degré. Dans chacune d'elles, tous les pieds de cacaoyers ont été observés, mais seule une superficie d'un hectare a été retenue comme échantillon représentatif.

Les itinéraires ont été constitués de 6 axes : axe Mbau, Kazeberé, Makumo, Biakato, Halungupa et axe Mutwanga ; dans chaque axe 15 plantations étaient observées en raison de 5 plantations par village, au total 90 plantations pour 18 villages.

Répartition des villages dans chaque axe :

- Axe Mbau : Villages Musuku, Upende et Kamirihi.
- Axe Kazeberé : Villages Vusivwameso, Kazeberé et Vutsumira.
- Axe Makumo : Villages Makumbise, Mikwata et Mangila.
- Axe Biakato : Villages Musiko 1, Musiko 2 et Musiko 3.
- Axe Halungupa : Villages Halungupa, Ngadu et Mangila.
- Axe Mutwanga : Villages Kisanga, Kisanzi et Kyavikere.

Lors de la collecte des données, des informations ont été recueillies auprès des responsables des plantations concernées ; notamment l'identité et l'âge du matériel végétal, ainsi que les informations liées à l'environnement et l'état phytosanitaire, en particulier la présence ou l'absence de la verticilliose.

Les sujets malades ont été identifiés sur base des signes symptomatologiques externes (morphologiques) et internes (présence de décolorations et de stries vasculaires).

Le niveau d'attaque de la verticilliose a été évalué à l'aide de deux paramètres : l'incidence et la sévérité. L'incidence était calculée comme le rapport entre le nombre de cacaoyers atteints et le nombre total de cacaoyers observés, tandis que la sévérité ou degré d'atteinte d'un arbre était calculée sur base d'une échelle de cotation.

Pour évaluer la sévérité, un système local de cotation inspirée des normes épidémiologiques végétales (allant de 0 à 5) a été mis au point. Étant donné le caractère tellurique du pathogène, l'inspection a été réalisée autour des plants symptomatiques afin d'identifier les cas adjacents et d'évaluer la propagation locale. Cette échelle se présentait comme suit :

- Cote 0 : sujet sans symptôme apparent (absence de décolorations et de stries vasculaires) ;
- Cote 1 : sujet présentant des décolorations et stries vasculaires sans altération extérieure visible ;
- Cote 2 : décolorations et stries vasculaires accompagnées d'altérations foliaires (jaunissement ou flétrissement) ;
- Cote 3 : décolorations et stries vasculaires avec début de flétrissement (au moins une branche atteinte) ;
- Cote 4 : décolorations et stries vasculaires avec flétrissement de plusieurs branches ;
- Cote 5 : plante entièrement flétrie.

La sévérité de la maladie a été évaluée au niveau individuel à l'aide d'une échelle ordinaire de cotation ci-dessus. Pour chaque unité d'observation (champ), la sévérité moyenne a été calculée en pondérant chaque cote par le pourcentage de plants présentant cette cote, selon la formule suivante :

$$S = \frac{\sum(\text{cote} \times \text{pourcentage de plants ayant cette cote dans un champ donné})}{100}$$

Cette valeur correspond à la cote moyenne de sévérité et varie entre 0 et 5. Elle permet de résumer l'intensité globale de la maladie à l'échelle du champ.

2.4. Analyses statistiques et cartographiques

Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel R. Les approches utilisées ont été adaptées à la nature des variables étudiées. La normalité des données a été évaluée à l'aide du test de Shapiro-Wilk, et l'homogénéité des variances a été vérifiée par le test de Levene. Lorsque les conditions d'application des tests paramétriques étaient respectées, une analyse de variance (ANOVA) a été utilisée, suivie du test post-hoc de Tukey (HSD) pour les comparaisons multiples.

Lorsque ces conditions n'étaient pas vérifiées, des tests non paramétriques ont été privilégiés, notamment le test de Kruskal-Wallis, suivi du test post-hoc de Dunn avec correction de Benjamini-Hochberg pour identifier les différences significatives entre groupes. La corrélation entre certaines variables quantitatives a été évaluée à l'aide du coefficient de Spearman. Des analyses cartographiques ont également été réalisées afin de visualiser la distribution spatiale de la maladie.

2.1. Incidence par village

L'analyse de l'incidence à l'échelle du village met en évidence une distribution spatialement hétérogène de la maladie. Les conditions d'application de l'analyse de variance (ANOVA) ont été vérifiées au préalable. Le test de Shapiro-Wilk indique que la distribution des données d'incidence ne respecte pas la normalité ($W = 0,95 ; p = 0,42$).

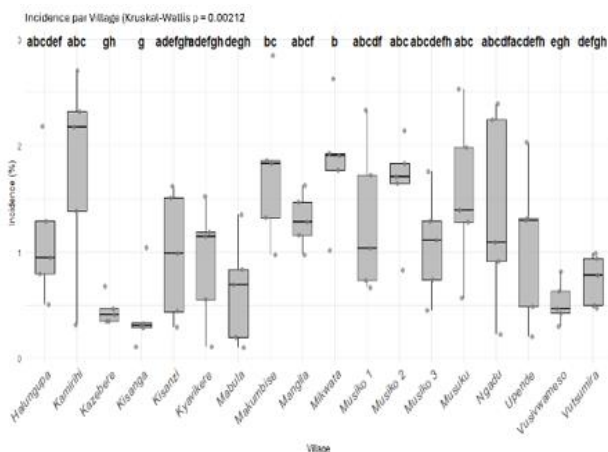


Figure 2 : Incidence par Village

Le test de Kruskal-Wallis a révélé des différences significatives entre les villages ($\chi^2=38,473, df=17, p=0,0021$).

Les comparaisons multiples réalisées à l'aide du test de Dunn, ajustées par la méthode de Benjamini-Hochberg, confirment l'existence de contrastes significatifs entre certains villages. Les niveaux d'incidence les plus élevés ont été observés à Mikwata ($1,85 \pm 0,58$), Makumbise ($1,77 \pm 0,71$) et Kamirih ($1,78 \pm 0,95$), tandis que les plus faibles ont été enregistrés à Kisanga ($0,41 \pm 0,36$), Kazebere ($0,45 \pm 0,14$) et Vusivwameso ($0,52 \pm 0,20$).

Cette variabilité traduit une distribution non homogène et localisée de la maladie. L'incidence varie fortement entre villages voisins, reflétant l'effet de micro-environnements et pratiques culturelles. Par champs, cette incidence peut se présenter de la manière ci-dessous :

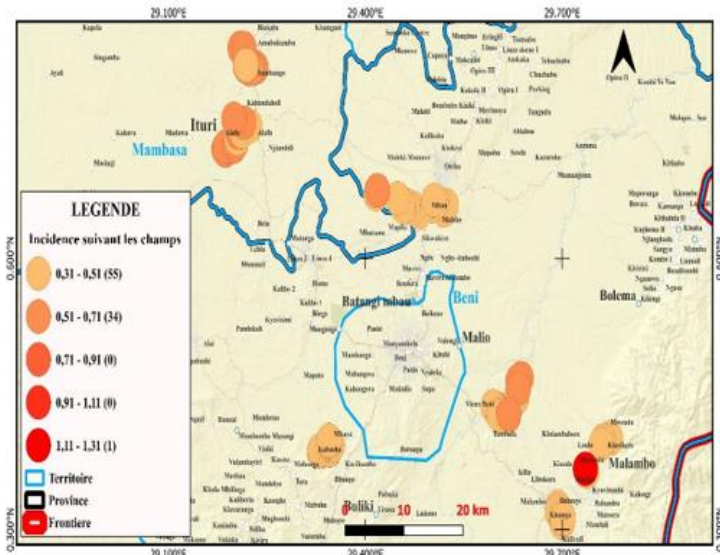


Figure 3 : Carte montrant la distribution spatiale de l'incidence suivant les champs

La carte révèle une concentration des foyers dans les zones de Makumbo et Biakato, confirmant les résultats statistiques obtenus par le test de Kruskal-Wallis. Les plantations situées le long des axes principaux et à basse altitude apparaissent plus vulnérables, probablement en raison de la densité des cultures, une hausse de température et de la proximité des échanges agricoles. À l'inverse, les zones périphériques et de haute altitude comme Kazebere et Mutwanga montrent une incidence plus faible, traduisant une relative stabilité phytosanitaire. Cette distribution spatiale met en évidence l'importance de la géographie et de l'accessibilité dans la propagation du pathogène.

3.2. Sévérité

L'effet du facteur « village » sur la sévérité a été analysé à l'aide d'une analyse de variance (ANOVA) à un facteur. Les conditions d'application du modèle ont été vérifiées au préalable : la normalité des résidus a été confirmée par le test de Shapiro-Wilk ($W = 0,99$; $p = 0,78$) et l'homogénéité des variances par le test de Levene ($F(17,72) = 0,90$; $p = 0,58$).

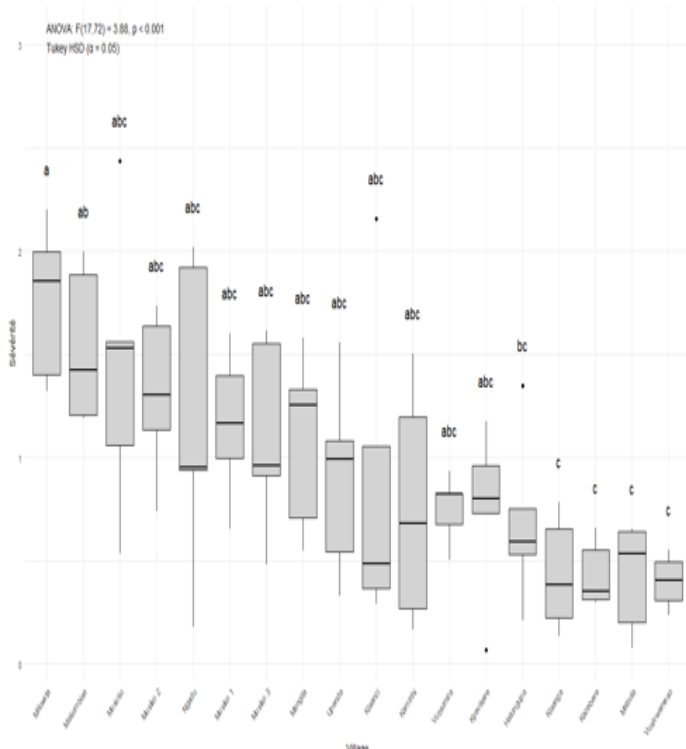


Figure 4 : Sévérité de la maladie cote 0 à cote 5

L'analyse de la sévérité à l'échelle des villages met en évidence une distribution spatialement hétérogène de la maladie. L'analyse de variance a révélé un effet significatif du facteur « village » sur la sévérité ($F(17,72) = 3,88$; $p < 0,001$), indiquant que l'intensité de la maladie varie significativement selon la localisation géographique. Le facteur village explique à lui seul une part importante de la variabilité observée ($\eta^2 = 0,48$), traduisant un effet spatial marqué.

L'examen des moyennes de sévérité montre que les niveaux les plus élevés sont observés dans les villages de Mikwata ($1,76 \pm 0,17$) et Makumbise ($1,54 \pm 0,17$), tandis que les valeurs les plus faibles sont enregistrées à Vusivwameso ($0,40 \pm 0,06$), Mabula ($0,42 \pm 0,12$), Kazebere ($0,44 \pm 0,07$) et Kisanga ($0,44 \pm 0,12$). La majorité des autres villages présentent des niveaux intermédiaires de sévérité.

Les comparaisons multiples réalisées à l'aide du test de Tukey (HSD) confirment que seules certaines

différences sont significatives. En particulier, les villages de Mikwata et Makumbise présentent des niveaux de sévérité significativement plus élevés que ceux des villages à faible sévérité tels que Kazebere, Kisanga, Mabula et Vusivwameso ($p < 0,05$), tandis que la majorité des villages ne diffèrent pas significativement entre eux, formant un groupe intermédiaire homogène.

3.3. Corrélation entre l'altitude et l'incidence du champignon

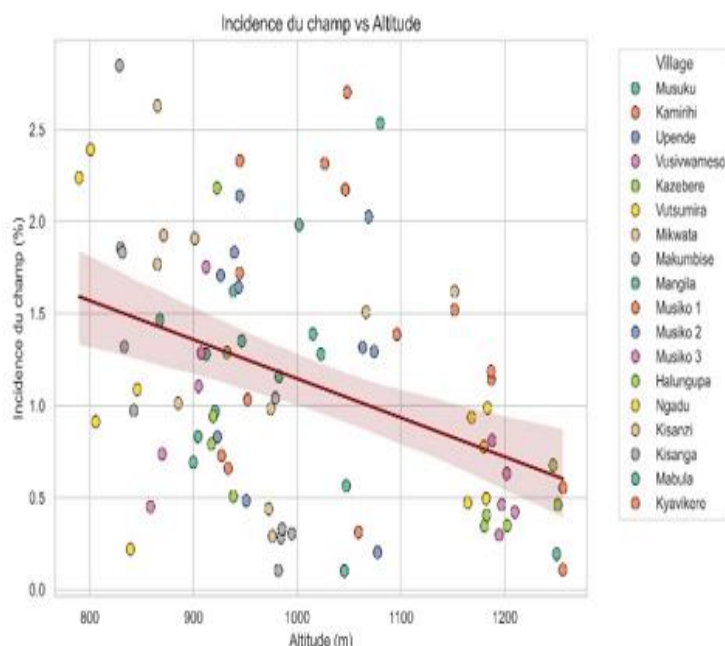


Figure 5 : Corrélation entre l'altitude et l'incidence du champignon

L'exploration des facteurs environnementaux a révélé un lien significatif entre l'altitude du site de plantation et l'incidence de la verticilliose. Le test de corrélation non paramétrique de Spearman a mis en lumière une relation négative significative entre ces deux variables ($\rho = -0,39$; $p < 0,001$).

Ce résultat établit que, de manière générale, l'incidence de la verticilliose diminue à mesure que l'altitude augmente. Cela implique que les plantations situées aux altitudes plus basses sont significativement plus exposées à l'infection par *Verticillium dahliae* que celles en hauteur. L'altitude se positionne ainsi comme un facteur environnemental clé qui module la distribution spatiale du pathogène dans les zones agroécologiques de Beni et Mambasa. Cette corrélation pourrait être expliquée par des variations de température, d'humidité ou de type de sol associées au gradient altitudinal, qui affectent la survie ou la dissémination des microsclérotés du champignon.

3.4. Gestion vs Sévérité

La figure 6 présente l'effet des pratiques de gestion des déchets sur la sévérité des symptômes de la verticilliose.

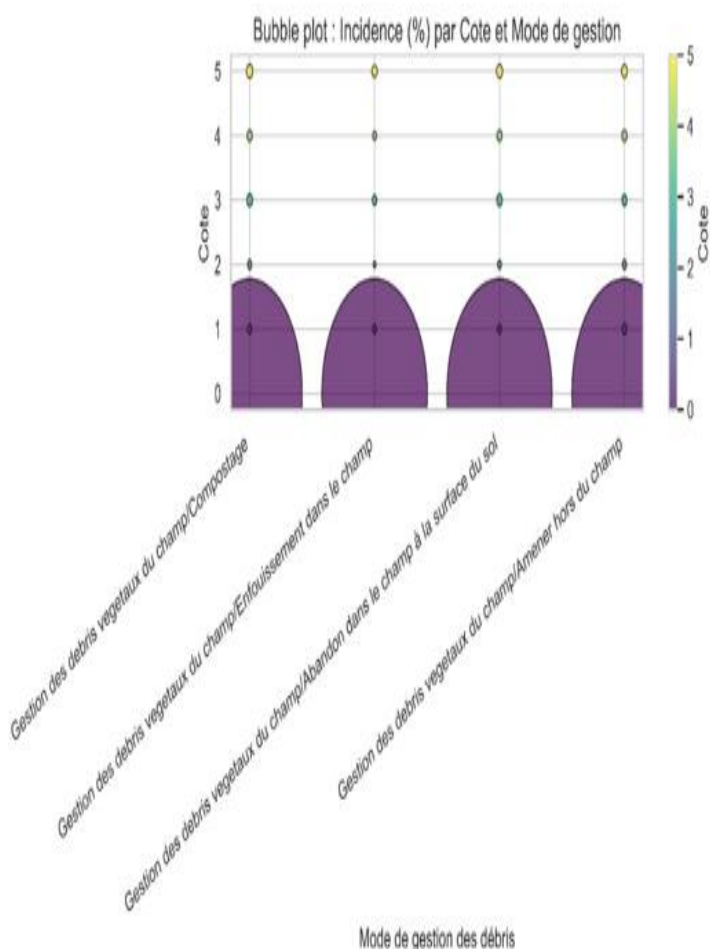


Figure 6 : Corrélation entre gestion des déchets et incidence

Les plantations pratiquant une gestion stricte des déchets (évacuation ou destruction) montrent des niveaux de sévérité plus faibles, avec une proportion réduite de cotes 4 et 5. À l'inverse, les champs où les déchets sont accumulés affichent une progression plus rapide vers les stades sévères. Ce résultat confirme que la gestion des résidus joue un rôle clé non seulement dans l'incidence mais aussi dans l'intensité des attaques, et devrait être intégrée dans les stratégies de lutte phytosanitaire.

3.5. Incidence de la verticilliose selon les espèces associées

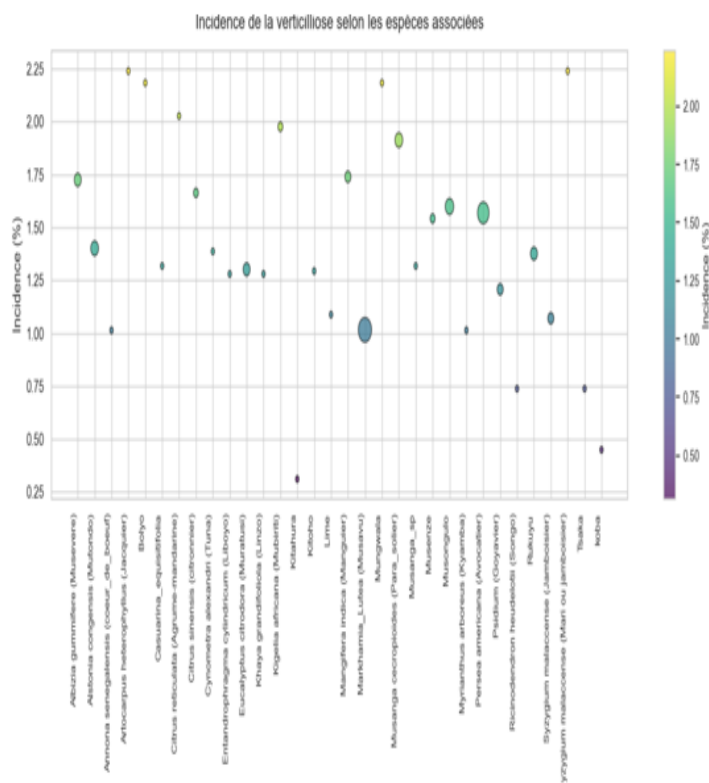


Figure 7 : Incidence de la verticilliose selon les espèces associées

On observe que certaines espèces comme *Artocarpus heterophyllus* (Jacquier), *Syzygium malaccense* (Jambosier), *Kigelia africana* (Mubiriti), Bolyo... sont associées à des incidences relativement plus élevées, traduites par des bulles de couleur plus chaude (jaune-orangé). Tandis que, des espèces telles que *Albizia gummifera* (museve), *Persea americana* (Avocatier), *Markhamia Lutea* (Musavu)... montrent des incidences plus faibles, représentées par des bulles de couleur violette.

La variation des tailles de bulles indique aussi que certaines espèces sont plus fréquemment rencontrées dans les plantations, ce qui accentue leur rôle potentiel dans la dynamique de la maladie. Globalement, la figure suggère que la présence de certaines espèces associées peut influencer la distribution de la verticilliose, soit en favorisant son incidence, soit en limitant sa propagation selon leur fréquence et leur interaction écologique.

4. Discussion

Les résultats confirment le caractère spatialement hétérogène de la verticilliose, typique des maladies telluriques dont la distribution dépend de la densité d'inoculum dans le sol (Pegg & Brady, 2002). Les foyers localisés observés à Makumo et Biakato suggèrent une accumulation de

microscférates, capables de persister plusieurs années dans le sol.

L'effet significatif de l'altitude est cohérent avec les travaux de Pérez-Artieda et al. (2021), qui montrent que les conditions thermiques et hydriques influencent fortement la survie de *V. dahliae*. Dans le contexte tropical, les zones de basse altitude présentent des conditions plus favorables au développement du pathogène.

La gestion des débris et les associations culturelles influencent directement l'incidence et la sévérité, orientant les stratégies de lutte. Les travaux de Bonanomi et al. (2007) ont montré que les amendements organiques peuvent réduire l'activité des champignons pathogènes, mais aussi, paradoxalement, favoriser leur survie dans certains contextes.

Cette étude présente deux limites majeures : elle n'a pas mesuré le gradient de température et d'humidité du sol pour préciser le seuil de risque lié à l'altitude, ni analysé les groupes de compatibilité végétative (VCG) et le potentiel pathogène des isolats de *V. dahliae*. Ces éléments auraient permis de vérifier si l'agressivité des souches varie aussi selon l'altitude. L'accessibilité et la situation sécuritaire ont constitué également une autre limite surtout dans le choix des itinéraires de prospection.

Cette étude confirme que la verticilliose du cacaoyer, bien que souvent négligée, constitue une menace réelle pour les plantations de Beni et Mambasa. Elle appelle à une intensification des recherches locales, à une cartographie fine des foyers d'infection, et à une mobilisation des acteurs agricoles pour mettre en œuvre des stratégies de gestion durable.

5. Conclusion

Cette étude met en évidence que la verticilliose du cacaoyer en RDC présente une distribution fortement dépendante des facteurs environnementaux, notamment l'altitude. Les zones de basse altitude constituent des foyers à haut risque nécessitant des interventions prioritaires. Une distribution non homogène et localisée de cette maladie est confirmée par l'existence de contrastes significatifs entre certains villages, avec des niveaux d'incidence les plus élevés observés à Mikwata ($1,85 \pm 0,58$), Makumbise ($1,77 \pm 0,71$) et Kamirihi ($1,78 \pm 0,95$), tandis que les plus faibles ont été enregistrés à Kisanga ($0,41 \pm 0,36$), Kazebere ($0,45 \pm 0,14$) et Vusivwameso ($0,52 \pm 0,20$).

Ces résultats plaident pour la mise en place de stratégies de gestion phytosanitaire (Ravageurs et

pathogènes) ciblées, basées sur une cartographie précise des zones à risque et une approche intégrée incluant l'assainissement des plantations et la gestion des résidus végétaux. L'effort doit se concentrer prioritairement sur les zones de risque avéré (identifiées par la basse altitude et la forte incidence), où des mesures d'assainissement intensif, incluant l'élimination rapide des cacaoyers sévèrement atteints (Cotes 4 et 5) et la désinfection du sol, sont impératives pour réduire l'inoculum.

Remerciements

Nos remerciements s'adressent à tous ceux qui se sont impliqués de près ou de loin pour la concrétisation de cette étude, de manière particulière l'équipe de la rédaction, la société ESCO-Kivu SARL pour son accueil et appuis matériels et techniques (logement, disponibilité des planteurs pilotes et Ingénieurs Agronomes).

Financement

Cette étude a été financée par fond propres, qui a couvert le voyage aller-retour Kinshasa vers la zone d'étude, déplacement dans différents axes, restauration, analyses.

Conflit d'Intérêt

Les auteurs déclarent n'avoir aucun conflit d'intérêt en rapport avec cet article.

Considérations Ethiques

Cette étude a été conduite conformément aux principes d'éthiques et de déontologie reconnus dans la recherche scientifique. Tous les protocoles ont été approuvés par le comité d'éthique compétent, et le consentement éclairé a été obtenu de tous les participants impliqués dans l'étude.

Contribution des Auteurs

J.K.B : Conception et supervision de l'étude, rédaction du manuscrit principale et validation de la version finale.

G.K : à participer aux analyses statistiques et rédaction.

Y.M.E : à participer aux collectes des données, cartographie et analyses statistiques.

J.B.M : à contribuer à la recherche bibliographique et la rédaction.

L.T.L : à valider le protocole de recherche et à contribuer à la rédaction.

M.M.M : à valider le protocole de recherche, contribuer aux analyses statistiques et à la rédaction.

ORCID des Auteurs

Jérémie Kambale Basyo: <https://orcid.org/0009-0001-5416-4567>

Guelor Kasereka: <https://orcid.org/0009-0005-0873-1988>

Yedidya Musangania Elikya: <https://orcid.org/0009-0007-6230-9686>

Joseph Bulabula Miji: <https://orcid.org/0009-0004-1412-2153>

Luc Tshilenge Lukanda: <https://orcid.org/0009-0003-8015-9678>

Marcel Muengula Manyi: <https://orcid.org/0000-0001-6323-7417>

Références bibliographiques

Adeniyi, D. O., Olufemi, A. A., & Akinyemi, O. A. (2020). Emerging fungal threats to cocoa production in West Africa. *European Journal of Plant Pathology*, 158(3), 567–580. <https://doi.org/10.1007/s10658-020-02045-4>

Banque africaine de développement. (2023). *African Economic Outlook 2023: Mobilizing Private Sector Financing for Climate and Green Growth*. <https://doi.org/10.1787/aeo-2023-en>

Banque Centrale du Congo. (2023, juillet 10). *RDC : plus de 30 000 tonnes de cacao exportées en 2022*. Radio Okapi. <https://www.radiookapi.net/2023/07/10/actualite/economie/rdc-plus-de-30-000-tonnes-de-cacao-exportees-en-2022-banque-centrale>

Bonanomi, G., D'Ascoli, R., & Scortichini, M. (2007). Organic amendments can suppress the activity of pathogenic fungi, including *Verticillium dahliae*. *Applied Soil Ecology*, 36(2–3), 195–205. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2007.02.004>

Bouchon, A.-S., & ten Hoopen, G. M. (2022). Integrated management of *Verticillium* wilt of cacao. *Frontiers in Agronomy*, 4, Article 911969. <https://doi.org/10.3389/fagro.2022.911969>

Fontaine, A., & Hütz-Adams, F. (2015). *Baromètre du cacao 2015 (édition américaine)*. Consortium des baromètres. <http://hdl.handle.net/10524/48573>

Koffi, A. T. K. (2025, juin 1). *Filière cacao en République Démocratique du Congo : Un géant endormi au potentiel immense sur un marché mondial en ébullition*. Cacao.ci.. <https://cacao.ci/filiere-cacao-en-republique-democratique-du-congo-un-geant-endormi-au-potentiel-immense-sur-un-marche-mondial-en-ebullition>

Madden, L. V., Hughes, G., & Van den Bosch, F. (2007). *The Study of Plant Disease Epidemics*.

APS Press. <https://doi.org/10.1094/9780890545058>

Pautasso, M., Döring, T. F., Garbelotto, M., et al. (2012). Impacts of climate change on plant diseases—opinions and trends. *Trends in Ecology & Evolution*, 27(3), 123–131. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2012.03.006>

Pegg, G. F., & Brady, B. L. (2002). *Verticillium wilts*. CABI Publishing. <https://doi.org/10.1079/9780851995298.0000>

Pérez-Artieda, E., Gámiz-López, S., & Navas-Cortés, J. A. (2021). Climatic drivers of *Verticillium dahliae* occurrence in Mediterranean olive-growing areas of southern Spain. *PLOS ONE*, 16(1), e0232648. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232648>

Ploetz, R. C. (2016). The impact of diseases on cacao production: A global overview. In B. A. Bailey & L. W. Meinhardt (Eds.), *Cacao Diseases: A History of Old Enemies and New Encounters* (pp. 33–59). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-24789-2>