

Influence des systèmes de culture sur l'incidence et sévérité de la mosaïque africaine du manioc en localité de Kivira (Nord-Kivu, RD Congo)

[Influence of cropping systems on the incidence and severity of African Cassava Mosaic in the locality of Kivira (North-Kivu, DR Congo)]

Musubao Kapiri Moïse^{1,2}, Kambale Muhesi Eloge^{2,3}, Kambale Kataliko Moïse³, Kahambu Mbafumoya Florence³, Paluku Kanyere Dieudonne³, Muhindo Saiba Difo³, and Paluku Musivirwa Jean Paul⁴

¹Département des Eaux et Forêts, Faculté des Sciences Agronomiques (FSA), Université Catholique du Graben (UCG-Butembo), BP 29, Ville de Butembo, RD Congo

²Cellule de Statistiques et Analyse des données, Laboratoire d'Ecologie, Géomorphologie et Géomatique (LEGG), Ville de Butembo, RD Congo

³Institut Supérieur d'Etudes Agronomiques, Vétérinaires et Forestières (ISEAVF-Butembo), Ville de Butembo, RD Congo

⁴Institut Supérieur d'Etudes Agronomiques, Vétérinaires et Forestières (ISEAVF-Kirumba), Territoire de Lubero, RD Congo

Copyright © 2022 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: At present, vegetatively propagated crops are susceptible to virus infection, and cassava (*Manihot esculenta* Crantz) is no exception to this generalization. It is in this context that the major concern in Africa has turned to the virus that induces African mosaic. Indeed, African Cassava Mosaic is a major constraint to cassava production due to its implications in dramatically increasing yield losses. In the perspective of setting up strategies to fight against this pandemic, the objective of this research is to study the influence of cropping systems on the degree of susceptibility of Cassava to African Mosaic (MAM) in the locality of Kivira. To achieve this objective, 90 fields were chosen randomly and this because of 30 monoculture fields based on cassava, 30 fields based on cropping associations and 30 fields where cassava is integrated with trees of species forests. The incidence, severity and Symptom Severity Index (SGI) of African Cassava Mosaic were observed in each field. In total, 7820 cassava plants (*Manihot esculenta* Crantz) were evaluated on all the fields studied. At the end of this study, the results show a very highly significant difference in the number of diseased plants, the incidence and the severity of MAM depending on the cropping systems and cultivars (p -value < 0.05). In the monoculture, we observe a high number of diseased plants with an average of 7.8 plants against 3.9 plants for the association and 2 for the agroforests. The average incidence of African cassava mosaic is 39.52% in monoculture, 22.36% in crop associations and 12.10% in agroforestry systems. The severity values are respectively 20.79% for monoculture, 10.4% for association and 5.73% for agroforestry systems. In view of the results of this study, the extension as well as the adoption by farmers of approaches based on agroforestry can constitute an important pillar for the diversification of production while reducing the effects of African mosaic on cassava cultivation in tropical Africa.

KEYWORDS: Cropping systems, agroforestry, incidence, African mosaic, cassava (*Manihot esculenta* Crantz) and locality of Kivira.

RESUME: A l'heure actuelle, les cultures propagées végétativement sont susceptibles à l'infection des virus, et le manioc (*Manihot esculenta* Crantz) ne fait pas exception à cette généralisation. C'est dans ce contexte que la préoccupation majeure en Afrique s'est tournée vers le virus qui induit la mosaïque africaine. En effet, la mosaïque africaine du manioc constitue une contrainte majeure de la production du manioc en raison de ses implications dans l'augmentation considérable des pertes de rendement. Dans la perspective de mise en place des stratégies de lutte contre cette pandémie, l'objectif de cette recherche est d'étudier l'influence de systèmes de culture sur le degré de sensibilité du manioc à la mosaïque africaine (MAM) en localité de Kivira. Pour atteindre cet objectif, 90 champs ont

été choisis d'une manière aléatoire et cela en raison de 30 champs de monoculture à base de manioc, 30 champs à base d'associations culturales et 30 champs où le manioc est intégré aux arbres d'espèces forestières. L'incidence, la sévérité et l'indice de Gravité de Symptômes (IGS) de la mosaïque africaine de manioc ont été observés dans chaque champ. Au total, 7820 plants de manioc (*Manihot esculenta* Crantz) ont été évalués sur l'ensemble de champs étudiés. A l'issue de cette étude, les résultats montrent une différence très hautement significative du nombre de plants malades, de l'incidence et de la sévérité de la MAM en fonction des systèmes de culture et des cultivars (p -value < 0,05). Dans la monoculture, on observe un nombre élevé de plants malades avec une moyenne de 7,8 plants contre 3,9 plants pour l'association et 2 pour les agroforêts. La moyenne de l'incidence de la mosaïque africaine de manioc est de 39,52 % en monoculture, 22,36 % en associations de culture et 12,10 % en systèmes agroforestiers. Les valeurs de la sévérité valent respectivement 20,79 % pour la monoculture, 10,4 % pour l'association et 5,73 % pour les systèmes agroforestiers. Au regard des résultats de cette étude, la vulgarisation ainsi que l'adoption par les agriculteurs des approches basées sur l'agroforesterie peuvent constituer un pilier important pour la diversification de la production tout en réduisant les effets de la mosaïque africaine sur la culture de manioc en Afrique tropicale.

MOTS-CLEFS: Systèmes de culture, agroforesterie, incidence, mosaïque africaine, manioc (*Manihot esculenta* Crantz) et localité de Kivira.

1. INTRODUCTION

Au cours de derniers siècles, il s'observe une très forte croissance démographique et de mutations importantes dans le monde, surtout avec une progression très rapide de l'urbanisation s'accompagnant d'une demande croissante d'aliments [1]. La sécurité alimentaire et nutritionnelle de l'Afrique subsaharienne constitue à l'heure actuelle, une préoccupation majeure [2]. En effet, le bond démographique dans les pays en développement n'a pas pour autant été suivi de l'autosuffisance et de la sécurité alimentaire souhaitées [3]. Or, si la prévalence des personnes qui ont faim a diminué ces dernières années dans le monde selon les chiffres de la FAO (de 30 % en 2000-2002 à 23,2 % en 2014-2016), cette baisse n'a pas été suffisamment significative pour enrayer, en valeur absolue, la progression du nombre de personnes qui ont faim (203,6 millions en 2000-2002 et 230 millions en 2014-2016). Dans ce contexte, améliorer la sécurité alimentaire en Afrique subsaharienne passe par le renforcement des quatre piliers de la sécurité alimentaire: la disponibilité des produits, l'accès, la qualité et l'utilisation, et enfin la stabilité c'est à dire l'accès permanent à une nourriture adéquate, sans menace de chocs ou d'événements cycliques [4].

De manière spécifique, le secteur agricole en RD Congo fait face à divers défis et contraintes, principalement d'ordre technologique, édaphique, climatique, social et économique affectant ainsi les masses de production ou masses de nourriture disponible par habitant [5]. Selon la référence [6] confirment ce fait en précisant que le problème de l'insécurité alimentaire en RDC est une question récurrente surtout que le rythme de la croissance économique et de l'augmentation de la production vivrière n'est pas proportionnel à celui de la hausse du nombre de bouches à nourrir. Selon les données de l'IPC, sur les 59,9 millions des personnes vivant dans les zones rurales analysées pour la période de Juillet 2019 à Décembre 2019, 15,6 millions de personnes, représentant 26% de la population analysée, sont en situation d'insécurité alimentaire aiguë sévère (Phase 3 et 4), dont 3,9 millions en situation d'Urgence (Phase 4). La même étude indique que pour la période projetée (Janvier à Mai 2020), près de 13,6 millions de personnes (soit 28% des 48 millions des personnes vivant les zones rurales analysées) seraient en situation d'insécurité alimentaire aiguë sévère (Phase 3 et 4), dont plus de 3,6 millions en situation d'Urgence (Phase 4) [7].

Parmi les cultures vivrières, le manioc joue un rôle important; ce dernier est fortement intégrée dans les systèmes de production et de consommation alimentaire de la région et bénéficiant d'une forte expansion géographique (de la forêt aux zones de savanes), contribue à la sécurité alimentaire et énergétique des pays de l'Afrique Centrale [8], [9] en général et en localité de Kivira en particulier où le manioc est non seulement l'aliment de base mais également la source de l'économie ménagère des cultivateurs. Le manioc est l'aliment de base de plus de 800 millions de personnes dans les zones tropicales [10], [11] dont 500 millions en Afrique [12] et sa production est en constante augmentation à un rythme supérieur à celui des céréales. Depuis 1961, le manioc a vu sa production multipliée par 3,5, alors que la production de l'ensemble des racines et des tubercules l'a été par 1,8 et celle des céréales par 3 [11]. En 2014, la production mondiale du manioc a été estimée à 282 millions de tonnes par an. L'Afrique est le premier producteur, avec une production de 146,810 millions de tonnes par an [9], [10]. Mais l'Afrique subsaharienne produit plus de 85 millions de tonnes de manioc par an [12], soit environ la moitié de la production mondiale [12], [13].

La République Démocratique du Congo (RDC) reste le premier pays consommateur de manioc au monde par habitant; 65 % de l'énergie journalière totale est fournie par le manioc. Parallèlement à la consommation de ses tubercules, 20 % de l'apport protéique de l'alimentation congolaise provient des feuilles de manioc. Enfin, avec près de 15 millions de tonnes produites en 2004, la RDC couvre 8 % de la production mondiale annuelle, derrière le Nigéria, le Brésil, la Thaïlande et l'Indonésie [8]. Cependant, les niveaux de rendement actuels représentent à peine 20% du potentiel des variétés cultivées du fait en partie de peu de soutien à la recherche et ainsi que du

peu de liaison entre les principaux acteurs de la production agricole (chercheurs, vulgarisateurs et paysans). Vers les années 90, le volume de production congolaise a chuté d'environ 20 %, pour diverses raisons telles que la montée des ravageurs et des maladies (mosaïque africaine principalement), la baisse de qualité des pratiques culturales, la réduction de la fertilité des sols, le déclin du système de vulgarisation agricole et d'éducation, et l'incidence de conflits socioéconomiques et politiques [9]. Ce qui fait qu'en 2018, la production moyenne était de 21,64 tonnes par ha en RDC (Anonyme, 2019), ce qui reste inférieur au potentiel de production du manioc.

Bien que le manioc présente une grande faculté d'adaptation aux différentes conditions écologiques [12], les dégâts causés par les maladies et les ravageurs constituent des contraintes énormes qui baissent fortement la production [11], [12], [14]. Cela en raison de l'émergence de nouvelles souches de bioagresseurs qui menacent sa pérennité [11]. Au cours des dernières années, de nouvelles souches de deux maladies virales du manioc (mosaïque [CMD] et striure brune [CBSD]) en ont impacté la production au niveau du champ [9]. En Afrique Centrale, la mosaïque du manioc est considérée comme l'une des maladies les plus dévastatrices et constitue une véritable pandémie [15]. En effet, la mosaïque africaine est une maladie du manioc qui a été décrite pour la première fois en Afrique de l'Est, notamment en Tanzanie par Warburg (1894) [11], [16] – [18] sous l'appellation de « Kräuselkrankheit » c'est-à-dire de frisolée, appellation d'ailleurs reprise par Zimmerman en 1906. Cette frisolée est aussi observée en 1928 par Hall (« leaf curl »), en 1929 par Storey (« curly leaf »), en 1951 par Steyaert (« leaf curl » et « leaf crinkle »). Wolfe et Lloyd écrivent aussi cette maladie dès 1912 sous l'appellation d'« Oedema », Pascalet en 1932 sous celle de « lèpre » et Thung en 1934 sous celle de « kroepoek ». Martin en 1928 a été le premier à lui donner son appellation actuelle de « Mosaïque » dénommée en anglais « Cassava Mosaic Virus » [19]. La mosaïque est une maladie causée par un *geminivirus* dans la zone intertropicale [15], [20]. L'agent pathogène est de la famille des *Geminiviridae*, genre *Begomovirus* [15], [21]. S'agissant de la mosaïque africaine du manioc, la maladie phare causée par un virus; African Mosaic Cassava Virus (ACMV). Ce virus est transmis par un aleurode ou mouche blanche *Bemisia tabaci* (Hémiptère, Aleyrodidae), petit hémiptère de 1 mm au corps blanc [12], [22], [23]. C'est un virus à ADN monocaténaire en mode de transmission circulante non-propagative [24].

En effet, selon les travaux conduits par Alvarez (2012), la maladie de la mosaïque du manioc (CMD) est responsable de la baisse du rendement de manioc en Afrique. Les pertes de rendement varient selon les auteurs; de l'ordre de 20 à 90 %, de 40 à 90 % [15], de 20 à 95 % [25], 5 à 95 % [26]. Cette capacité d'attaque de la mosaïque du manioc est liée au fait qu'elle se caractérise par une déformation des feuilles et une forte mosaïque qui s'explique par des taches jaunes ou vert clair couvrant 20 à 100% du limbe [15].

D'ailleurs avec l'apparition récente des plants à indice de gravité élevé (4 ou 5) qui a commencé à attirer leur attention, car à ce niveau de sévérité, les plants deviennent chétifs avec une réduction de 80 à 90 % de la surface foliaire, occasionnant des pertes de rendement importantes [16]. A plus, la mosaïque du manioc provoque de profondes modifications dans la plante: des modifications de structure, des troubles de métabolisme, la formation de grains d'amidon petits et à teneur moindre. L'on comprend que la grande variation des pertes de rendement reflète sans aucun doute une grande sensibilité du manioc, mais aussi une grande méconnaissance de l'impact exact de cette virose sur la production du manioc, au niveau d'une plante et donc au niveau de la culture tout entière sur le continent africain [26]. C'est dans ce sens que cette étude a été entreprise dans une localité où la culture de manioc est prédominante. Car le manioc constitue un des aliments de base de la population du Nord-Kivu en général et du territoire de Beni en particulier. Mais cette culture de manioc est attaquée par la mosaïque sur toute l'étendue de la Province du Nord-Kivu [27] au point que le rendement à la récolte expose les communautés à une insécurité alimentaire. Une bonne connaissance de l'étendue des dégâts provoqués par la maladie est indispensable; c'est ce qui fera l'objet des travaux. Les résultats, qui vont en découler, peuvent apporter des informations utiles aux producteurs, aux ONG, aux pouvoirs publics et autres entités travaillant sur le manioc.

Dans ce contexte caractérisé par la généralisation de la mosaïque africaine de manioc et tenant compte des systèmes de culture adoptés par les agriculteurs, la question à laquelle cette étude veut apporter des éléments de réponse est formulée sous deux volets: (1) Le système de culture a-t-il une influence sur le taux d'infestation des plantes par la mosaïque africaine du manioc (MAM) ? (2) Quel est le niveau d'incidence et de sévérité de la mosaïque africaine du manioc (MAM) dans les champs intégrant les ligneux par rapport aux champs en association avec les cultures vivrières ou avec monoculture ?

2. MILIEU D'ÉTUDE ET MÉTHODES

2.1. MILIEU D'ÉTUDE

La localité de Kivira se trouve en chefferie des Bashu, territoire de Beni à l'Est de la République Démocratique du Congo. En effet, le territoire de Beni connaît un climat équatorial du type guinéen qui s'étend sur les basses terres occidentales et septentrionales [28]. Ce climat varie fortement avec l'altitude et la situation géographique. La proximité de l'équateur détermine deux saisons pluvieuses et deux saisons relativement sèches de juin à août et de janvier à février [29]. La région de Beni étant en basse altitude enregistre une température de plus variant de 20 à 30 °C avec une moyenne de 25 °C [30]. Dans la localité de Kivira, le relief a des caractéristiques propres aux terres de basse altitude. Sur base des points GPS collectés, les champs de manioc investigués sont situés entre 1175 et 1321 m d'altitude avec une moyenne de 1262 m. Les sols dérivés des divers substrats rocheux rencontrés dans la région de Beni sont

principalement formés de matériaux kaoliniques. Le trait essentiel de ces sols est la présence de terres d'excellente qualité mais à forte sensibilité à l'érosion [29]. La référence [31] mentionne aussi l'existence des hygrokaolisols et des hygro-xérokaolisols. Ces hygro-kaolisols sont des sols sans dessèchement de profil. Ils ont un taux de saturation en cations généralement inférieur à 25 %. Par contre, les hygroxérokaolisols sont des sols avec dessèchement temporaire du profil. Ils ont un taux de saturation généralement compris entre 30 et 50 %. Chimiquement, les sols de Beni en général, sont acides et pauvres en calcium sous forêt, mais deviennent basiques et riches en calcium sous culture. Les sols ont un taux de minéralisation de l'azote de 5 % et un pHeau oscillant entre 5,5 à 6,1. Bien qu'actuellement la région fait face à la déforestation galopante suite à la pratique de l'agriculture abattis brûlis, trois types de végétation caractérisent son paysage: (i) la forêt claire combinée à des savanes boisée et herbeuse dans la plaine de la Semuliki, (ii) la forêt montagnarde située dans le secteur du mont Ruwenzori et (iii) la forêt ombrophile et sempervirente typique du domaine forestier central de la cuvette congolaise [30]. L'économie locale est, en effet, historiquement soutenue par l'agriculture qui est essentiellement traditionnelle. Elle a gardé le même instinct; une agriculture rudimentaire qui est pratiquée sur des espaces étroits [32]. La figure 1 montre la localisation du milieu d'étude.

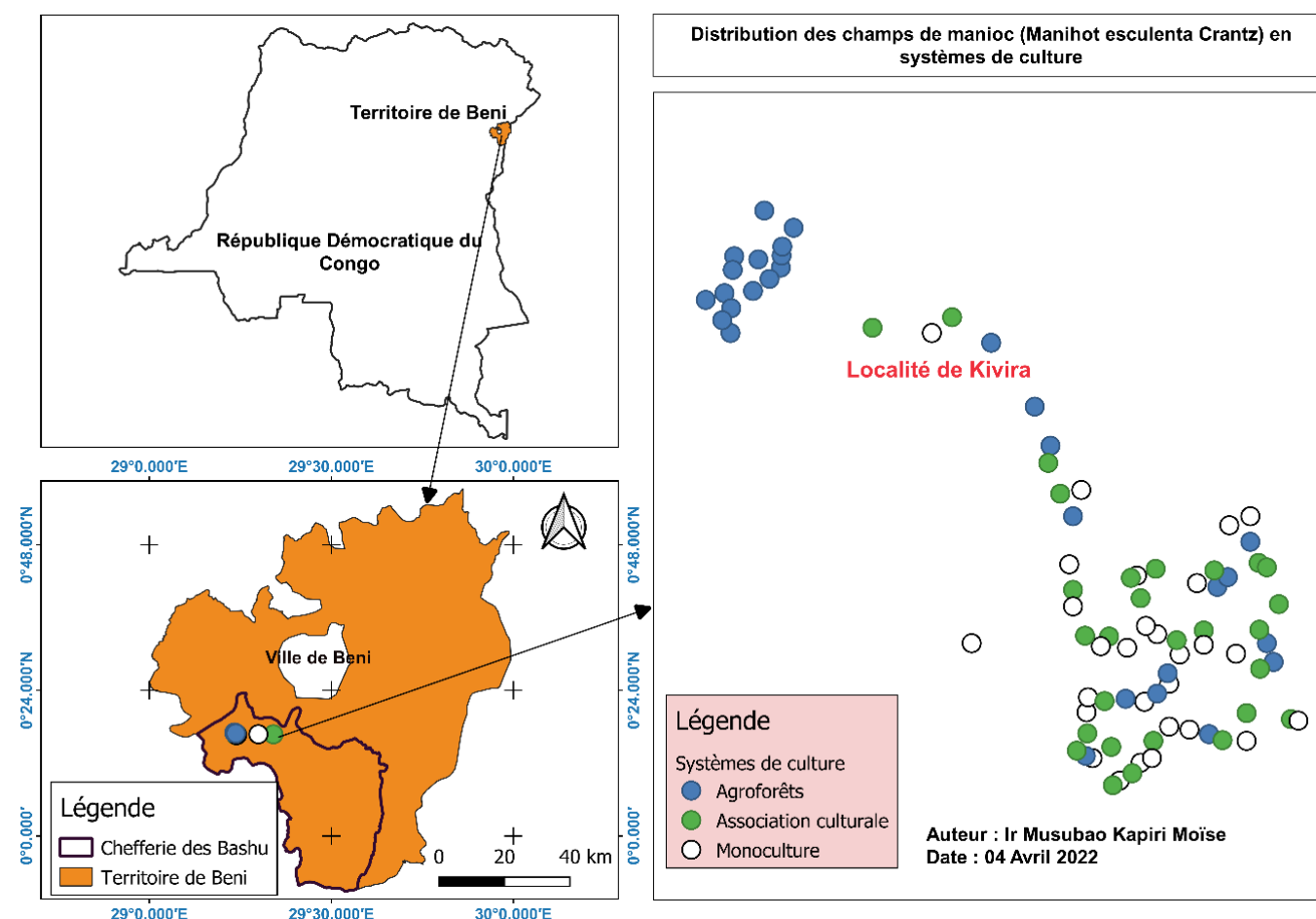


Fig. 1. Localisation des champs investigués dans la zone d'étude

2.2. MATÉRIELS

Le matériel ayant servi à la prospection était composé d'un GPS (*Global Positioning System*) marque Garmin 62 Stc pour relever les coordonnées géographiques des différents champs suivant les systèmes de culture. Un pentadécamètre a été utilisé pour délimiter les 5 carrés au sein de chaque champ. Un appareil photographique numérique pour les prises de vue et enfin, un stylo pour les prises de notes. Le matériel biologique utilisé est constitué de plants symptomatiques et asymptotiques de manioc (*Manihot esculenta* Crantz) dans chaque système de culture.

2.3. MÉTHODES

2.3.1. DISPOSITIF D'ÉCHANTILLONNAGE

L'échantillon est constitué de 90 champs choisis au hasard dans le village de Kivira. Les 90 champs ont été répartis par système de culture en raison de 30 pour la monoculture manioc, 30 pour l'association manioc avec d'autres cultures et 30 champs associant manioc et les arbres c'est-à-dire les agroforêts. En effet, la distribution des maladies et/ou des ravageurs dans un champ est un facteur déterminant le choix du dispositif de collecte des données à adopter. Une maladie ou un ravageur peut avoir une distribution aléatoire, en agrégats ou régulière [33]. Ainsi, en vue d'appréhender la variabilité de la distribution de la MAM dans chaque champ, la recherche a été effectuée en suivant la méthode de 5 carrés de 5 m x 5 m soit 25 m² pour un carré. La figure 2 montre le dispositif par la méthode d'évaluation de l'incidence par 5 carrés.

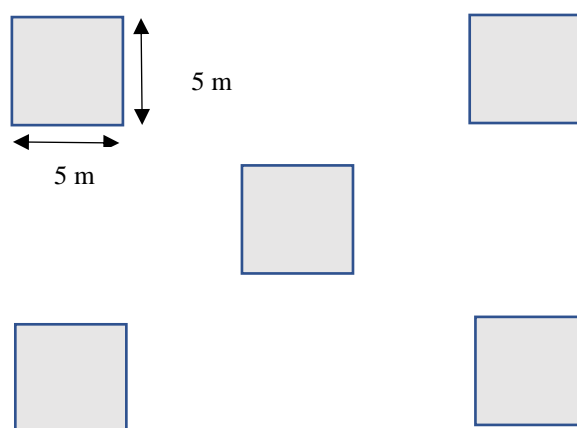


Fig. 2. Dispositif d'évaluation par la méthode de 5 carrés

2.3.2. PARAMÈTRES OBSERVÉS

Les observations ont été faites sur toutes les plantes de manioc (*Manihot exculenta* Crantz) au sein de chacun de 5 carrés. Pendant cette phase, les cultures vivrières, industrielles ou maraîchères associées au manioc ainsi que les espèces ligneuses ont été identifiées. Au niveau de chaque champ, les différentes variétés cultivées par les agriculteurs ont été également identifiées. Le nombre des plants total au sein de chaque carré et le nombre de plants malades ont été comptés. Ainsi, les paramètres ont été mesurés sont l'incidence de la mosaïque sur le manioc, le taux d'attaques foliaires et l'indice de gravité des symptômes. L'analyse de ces paramètres a permis de déterminer la sévérité de la mosaïque et d'identifier le ou les systèmes de culture présentant des faibles taux d'infestation. L'incidence de la MAM a consisté à déterminer le pourcentage des plants de manioc malades par simple comptage dans les différents champs. En effet, l'incidence d'une maladie est le rapport entre le nombre des plants malades et le nombre des plants total dans un carré multiplié par 100.

$$\text{Incidence de la MAM} = \frac{\text{Nombre des plants malades dans le carré}}{\text{Nombre des plants total dans le carré}} \times 100$$

L'incidence de la MAM dans le champ a été obtenu en faisant la moyenne des incidences au sein de 5 carrés installés dans chaque champ.

Le taux d'attaques foliaires (nombre de feuilles atteintes par plant) a permis de déterminer la proportion des feuilles des plants malades en vue d'évaluer la sévérité de la maladie. L'indice de gravité des symptômes a été évalué par l'échelle de COURS. Cette échelle va de 0 (plant sain) à 5 (plant fortement atteint par la maladie). Le degré de sévérité de la mosaïque du manioc selon l'échelle de COURS est la suivante [6], [16], [23], [34]: 0: Pas de symptôme; 1: Légère mosaïque sans déformation ni réduction de la taille et recouvrant moins de 20 % de la surface de la feuille; 2: Mosaïque nette recouvrant 50 % de la surface de la feuille avec parfois déformation de la feuille; 3: Mosaïque recouvrant toute la surface de la feuille, accompagnée d'une déformation et d'une réduction de la surface de la feuille; 4: Mosaïque recouvrant toute la surface de la feuille, accompagnée d'une déformation sévère et d'un nanisme de la feuille; 5: Lorsque les folioles sont pratiquement réduites à la nervure. En utilisant cette échelle de COURS, l'indice de sévérité de la MAM a été calculé en utilisant la formule proposée par [35], [36]:

$$\text{Indice de sévérité} = \frac{\sum n \cdot b}{(N-1)T} \times 100$$

Avec n=nombre de plants pour chaque degré de l'échelle de COURS; b=degré de l'échelle; N=nombre de degré de l'échelle utilisée et T= Nombre total des plants évalués dans l'ensemble du champ.

2.3.3. ANALYSE STATISTIQUE DES DONNÉES

Les données ont été dépouillées dans le tableur Microsoft Excel 2019 avant l'analyse statistique. Le nombre des plants malades, l'incidence et la sévérité de la MAM ont été soumis à une analyse de la variance (ANOVA) selon la procédure *Generalized Linear Model* (Modèle Linéaire Généralisée) en prenant en compte deux facteurs de classification. Le facteur fixe est constitué de chaque carré installé dans chaque champ et le facteur aléatoire est constitué des systèmes de culture. Les différences du nombre de plants malades entre les systèmes de culture étaient significatives au seuil alpha de 5 %. La comparaison multiple des moyennes a été effectuée à l'aide du test de Student-Newman-Keuls (SNK) du package 'agricolae' [37]. L'ensemble des analyses statistiques a été effectué à l'aide du logiciel R version 4.1.2 [38] en utilisant un éditeur de script IDE (*Integrated Development Environment*), le logiciel RStudio version 1.2.5033. Les résultats ont été présentés sous forme de diagrammes à barres ou des tableaux.

3. RÉSULTATS

3.1. INFLUENCE DU SYSTÈME DE CULTURE SUR LE NOMBRE DE PLANTS ATTAQUÉS PAR LA MAM

L'analyse de la variance montre que le système de culture influence très hautement significativement le nombre des plants malades ($p\text{-value}=2.10^{-16}***<0,05$). Même au sein des carrés installés le champ, une différence hautement significative apparaît ($p\text{-value}=0,00662**<0,05$). Par contre, l'interaction entre les deux facteurs n'est pas significative ($p\text{-value}=0,83099>0,05$). Le graphe de comparaison multiple des moyennes est présenté ci-dessous (figure 3).

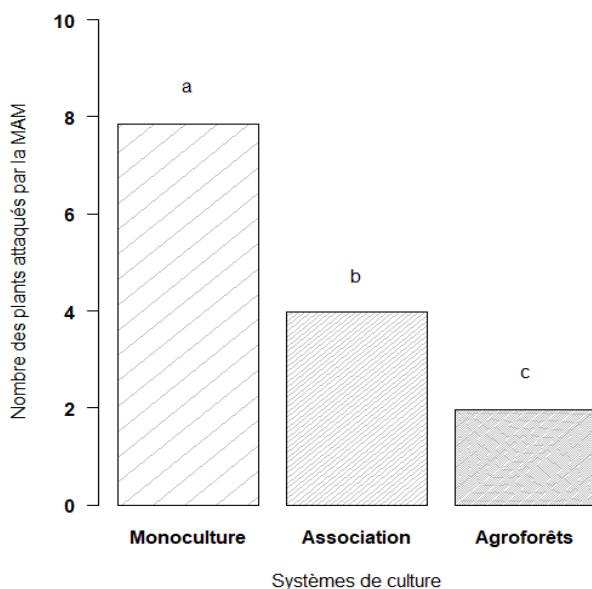


Fig. 3. Moyennes du nombre de plants malades en fonction du système de culture

La figure 3 montre que dans la monoculture on observe un nombre élevé de plants atteints par la MAM avec une moyenne de $7,8 \pm 3,45$ plants contre $3,9 \pm 2,14$ plants pour les associations culturales et $2 \pm 1,67$ pour les agroforêts.

3.2. INFLUENCE DES CULTURES/ARBRES ASSOCIÉS AU MANIOC SUR LE NOMBRE DES PLANTS MALADES

Les résultats de l'analyse de la variance montrent que les types de cultures et d'arbres associés au manioc influence fortement le nombre de plants malades dans le champ selon l'analyse de la variance ($p\text{-value}=2.10^{-16}***<0,05$). Cependant, entre les 5 carrés de chaque champ, une différence significative a été observée ($p\text{-value}=0,0105*<0,05$). Le tableau 1 montre que dans la monoculture à

manioc, le nombre de plants moyen attaqué par la MAM est significativement supérieur au nombre des plants attaqué par MAM dans les cas de des associations culturales ou des agroforêts.

Tableau 1. Nombre de plants atteints par la MAM en fonction de cultures et/ou arbres associés

Types de cultures et ou espèces d'arbres	Moyenne du nombre de plants malades
Manioc pure (<i>Manihot esculenta</i> Crantz)	7,8±3,45 ^a
Maïs (<i>Zea mays</i> L.)	4,5±2,07 ^b
Maïs + Haricot (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	3,8±2,11 ^b
Arachide (<i>Arachis hypogea</i> L.) + Soja (<i>Glycine max</i> L. Merr)	3,8±2,28 ^b
Maïs + Arachide	3,4±2,31 ^b
Haricot (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	3,2±2,09 ^b
Quinquina (<i>Cinchona rubra</i> L.)	2,7±1,88 ^b
Palmier à huile (<i>Elaeis guineensis</i> L.)	2,4±2,32 ^b
Papayer (<i>Carica papaya</i> L.)	2,4±1,81 ^b
Cacaoyer (<i>Theobroma cacao</i> L.)	1,9±1,39 ^b
<i>Leucaena leucocephala</i> (Rosina)	1,8±1,74 ^b
Caféier (<i>Coffea robusta</i> L.)	1,6±1,58 ^b
<i>Ficus valis shudae</i> (Mutembo)	1,4±1,14 ^b

Légende: Les moyennes et les écartypes accompagnés d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % du test Student-Newman-Keuls.

3.3. INFLUENCE DE VARIÉTÉS SUR LE NOMBRE DE PLANTS ATTEINTS PAR LA MAM

L'analyse de la variance a montré que les variétés identifiées au sein de chaque champ influencent d'une manière hautement significative le nombre de plants malades dans le champ ($p\text{-value}=1,5.10^{-11}***<0,05$). Mais au niveau de carrés installés dans le champ, la différence n'est pas significative ($p\text{-value}=0,0879 >0,05$) de même que l'interaction entre ces facteurs ($p\text{-value}=0,9964>0,05$). La séparation des moyennes par le test Student-Newman-Keuls des moyennes du nombre des plants malades en fonction des différentes variétés identifiées est présentée au niveau de la figure 4.

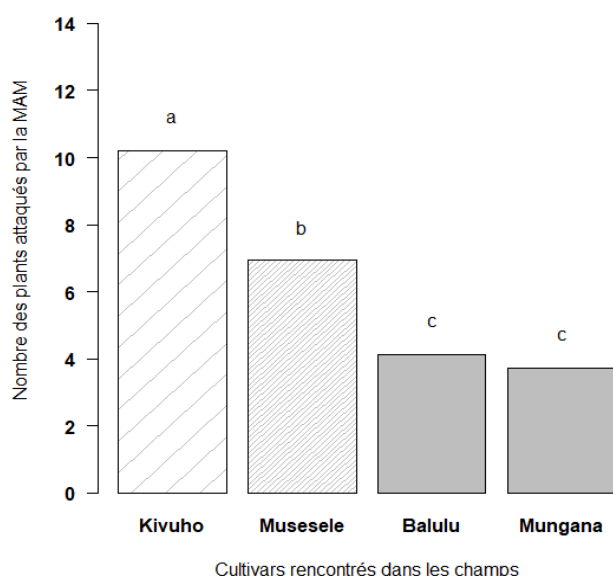


Fig. 4. Moyennes du nombre de plants malades en fonction des variétés

Les résultats présentés au niveau de la figure 4 montre que la valeur la plus élevée a été obtenue avec la variété *Kivuho* (10,20±1,48 plants malades), ensuite la variété *Musesele* (6,9±4,34 plants malades) et enfin, les variétés *Balulu* et *Mungana* avec respectivement 4,10±3,09 et 3,7±3,52 plants malades.

3.4. INFLUENCE DE SYSTÈMES DE CULTURE SUR L'INCIDENCE DE LA MAM DANS LES CHAMPS

L'analyse révèle une différence très hautement entre les valeurs moyennes de l'incidence de la MAM en fonction des systèmes de culture ($p\text{-value}=2.10^{-16}***<0,05$) et en fonction des 5 carrés ($p\text{-value}=0,00174**<0,05$). Cette différence significative observée entre les différents carrés indique que la maladie n'est pas distribuée de la même façon sur l'ensemble du champ. Néanmoins, le facteur d'interaction entre les systèmes de culture et les carrés n'est pas significatif ($p\text{-value}=0,7237$).

Si on prend les champs sans distinction des systèmes de culture, la valeur moyenne de l'incidence de la MAM dans notre milieu d'étude est de 24,85±17,18 %. Cette valeur de l'écartype assez proche de la moyenne indique que l'incidence de la MAM varie beaucoup d'un champ à un autre. La valeur maximale de l'incidence de la MAM étant de 80 %. La comparaison des valeurs d'incidence en fonction de systèmes de culture (tableau 2) montre l'incidence de la MAM est significativement faible dans les agroforêts que dans les associations culturales et la monoculture (manioc pure).

Tableau 2. Pourcentage d'incidence de la MAM dans les différents systèmes de culture

Systèmes de culture	Minimum	Moyenne	Maximum
Agroforêts	0	12,10±10,52c	41,66
Association	0	22,36±10,51b	42,86
Monoculture	0	39,52±17,00a	80

Le tableau 2 montre que les valeurs moyenne et maximale sont plus élevées en monoculture manioc qu'en association culturale ou en système agroforestier. Pour la monoculture, la moyenne est de 39,52 % contre 12,10 % pour les agroforêts et 22,36 % pour les associations de culture.

Prenant en compte les variétés de manioc au sein de chaque champ, on constate une différence très hautement significative de l'incidence de la MAM ($p\text{-value}=2.10^{-16}***<0,05$). Entre les 5 carrés installés dans chaque champ, on observe une différence hautement significative ($p\text{-value}=0,00963**<0,05$). La variation de l'incidence de la MAM en fonction des variétés est présentée dans le tableau 3.

Tableau 3. Pourcentage d'incidence de la MAM en fonction des variétés

Cultivars	Minimum	Moyenne	Maximum
<i>Balulu</i>	0	22,10±14,39c	68
<i>Kivuho</i>	44,44	62,52±13,66a	80
<i>Mungana</i>	0	20,06±16,48c	52,63
<i>Musesele</i>	0	37,34±21,44b	78,57

Il ressort du tableau 3 que le pourcentage d'incidence le plus élevé a été observé au niveau du champ où l'on cultive la variété *Kivuho* (62,52 %), la variété *Musesele* (37,34 %), la variété *Balulu* (22,10 %) et la variété *Mungana* (20,06 %).

3.5. INDICE DE GRAVITÉ DE SYMPTÔMES (IGS) ET SÉVÉRITÉ DE LA MAM

Sur un total de 7820 plants de manioc examinés dans cette étude, 2041 plants étaient attaqués par la MAM (tableau 4). De ce 2041 plants malades, 25 % présentent la valeur de l'IGS égale à 1, 29,30 % avaient une valeur de l'IGS égal à 2, 24,89 % présentaient une valeur de l'IGS de 3, 14,50 % avaient une valeur de l'IGS de 4 et 5,78 % un IGS de 5. La moyenne de l'IGS est de 0,65 dans notre milieu d'étude. La proportion des plants malades suivant le degré d'échelle de Cours est présentée au niveau du tableau 5 (tableau 5).

Tableau 4. Indice de gravité de symptômes (IGS) de la MAM des plants sains et atteints

IGS	Nombre de plants	Pourcentage
0	5779	73,90
1	521	6,66
2	598	7,65
3	508	6,50
4	296	3,79
5	118	1,51
Total	7820	100

Tableau 5. Indice de gravité de symptômes des plants atteints de la MAM

IGS	Nombre des plants malades	Pourcentage
1	521	25,53
2	598	29,30
3	508	24,89
4	296	14,50
5	118	5,78
Total	2041	100,00

D'une manière générale, la sévérité de la MAM dans le milieu d'étude est en moyenne de 12,24±8,22 %. Cependant, les résultats montrent une différence très hautement significative de la sévérité de la MAM entre les systèmes de culture ($p\text{-value}=2.10^{-16}***<0,05$) et entre les variétés de manioc ($p\text{-value}=1,71.10^{-9}***<0,05$). Les infestations de la MAM les plus élevées ont été obtenues dans les champs à monoculture et les plus faibles dans les champs où le manioc est associé aux espèces forestières (agroforêts) (tableau 6).

Tableau 6. Sévérité de la MAM en fonction des différents systèmes de culture

Système de culture	Sévérité de la MAM (%)		
	Minimum	Moyenne	Maximum
Monoculture	5,75	20,79±7,65a	35,32
Association	1,42	10,14±3,45b	20,23
Agroforêts	4	5,73±3,36c	14,40

Les valeurs de la sévérité par types de cultures ou d'arbres associés au manioc présentées au niveau du tableau 7 ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5 % de l'analyse de la variance ($p\text{-value}=0,152>0,05$).

Tableau 7. Sévérité de la MAM en fonction des différentes cultures et/ou espèces forestières

Cultures et /ou espèces forestières	Valeurs de la sévérité de la MAM (%)		
	Minimum	Moyenne	Maximum
Arachide (<i>Arachis hypogea</i> L.)	11,6	13,61±3,45	16,05
Arachide + Soja (<i>Glycine max</i> L. Merr)	7,5	7,5	7,5
Cacaoyer (<i>Theobroma cacao</i> L.)	2,87	5,55±2,87	13,22
Caféier (<i>Coffea robusta</i>)	3,16	5,09±2,23	8,73
Haricot (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	7,71	8,38±0,94	9,04
<i>Leucaena leucocephala</i> (Rosina)	1,42	5,19±3,38	11,95
Maïs (<i>Zea mays</i> L.)	6,84	11,06±4,02	20,43
Maïs + Arachide	4	9,47±3,95	16
Maïs + Haricot	5,17	9,70±2,85	15,25
Manioc pure (<i>Manihot esculenta</i> Crantz)	5,75	20,79±7,65	35,32
<i>Ficus valis shudae</i> (Mutembo)	5,2	5,20	5,20
Palmier à huile (<i>Elaeis guineensis</i>)	3,61	7,49±5,99	14,40
Papayer (<i>Carica papaya</i>)	4,04	4,04	4,04
Quinquina (<i>Cinchona rubra</i>)	4,21	8,91±6,64	13,61

L'analyse des valeurs de la sévérité (tableau 7) montre que la valeur moyenne (20,79 %) obtenue dans les champs à culture pure de manioc est nettement supérieure aux valeurs obtenues lorsque le manioc est associé aux cultures vivrières, industrielles ou les arbres.

4. DISCUSSION

4.1. INCIDENCE DE LA MOSAÏQUE AFRICAINE DU MANIOC (MAM)

D'une manière générale, l'incidence de la MAM dans les champs de la zone d'étude varie de 0 à 80 % avec une moyenne de 24,85±17,18 %. Bien qu'observe une variation importante de l'incidence, la valeur moyenne obtenue au cours de cette étude est nettement inférieure aux valeurs obtenues par [6]. Ces auteurs rapportent une incidence moyenne de 70,11 % et en fonction des sites, 70,36 % et 69,68 % respectivement dans les champs à Kimwenza et à Mitendi. Par contre dans les jardins de case de la ville de Kinshasa, ils parlent d'une incidence de la MAM sur l'espèce *Manihot glaziovii* qui est en moyenne de 78 %. En faisant une répartition par communes, ces auteurs trouvent une incidence moyenne de 80 % pour la commune de Kimbaseke, 88 % pour la commune de Lemba, 74 % pour la commune de Mont-Ngafula, 72 % pour la commune de Ngaliema et 79 % pour la commune de Selembao [6]. Une étude a été menée sur des champs de manioc à Kindu (province du Maniema en République Démocratique du Congo) et ses hinterlands entre 2017-2018 montre une incidence moyenne de la MAM égale à 72,26 % [20]. En fonction des localités, cet auteur a trouvé des valeurs de 91,7% (Mikonde Pk5), de 86,6% (Kampala Pk11), de 83,28% (Katako Pk7), de 74,62% (Shenge Pk4), de 73,38% (Lukungu Pk7) et de 38,04% (Lwama Pk7). Au Burundi, [39] lors d'une étude dans 10 provinces trouvent de valeurs de l'incidence de la MAM de 46,3 % à Bujumbura, 20 % à Kayanza, 38,6 % à Ngozi, 84,6 % à Kirundo, 74,7 % à Muyinga, 28 % à Karuzi, 28,2 % à Gitega, 18,5 % en Muramvya, 44,5 % à Ruyigi et 56,1 % à Rutana. On constate que certains de ces provinces du Burundi présentent des valeurs de l'incidence moyenne assez proches de la valeur obtenue pour notre zone d'étude. Lors d'une étude menée dans 7 régions de la Côte d'Ivoire, [10] rapporte des valeurs moyennes de l'incidence de la MAM égales à 37,19±5,49 % pour la région de Belier, 13,33±2,71 % à Boukani, 38,67±7,65 % à Gbeke, 29,17±6,05 % à Gontougo, 46,67±11,44 % à Hambol, 32,01±7,64 % à Indenie Djuablin et enfin, 48,89±4,84 % à Tchologo. La moyenne de l'incidence de la MAM obtenue dans notre milieu d'étude est également inférieure à la valeur de 84,95 % obtenue dans les toutes les localités des régions de la République Centrafricaine par la référence [22]. Ces derniers rapportent aussi une incidence moyenne qui varie de 77,9 % dans la zone soudano-oubanguienne à 92,82% dans la zone soudano-guinéenne. L'étude réalisée à Bangui a montré une incidence moyenne de la maladie de 71,9 % [40]. En fonction des différentes localités rurales, ces auteurs cités précédemment ont trouvé des incidences de la maladie de 97% à Bouar, 73 % à Bossemptele, 72 % à Boali, 71 % à Damara, 70 % à Baoro et 67% à Sibut. Lors des études menées sur 2002 et en 2003 dans des régions de la République du Congo, [21] ont trouvé des valeurs moyennes de l'incidence de la MAM respectives de l'ordre de 80 % et 86 %. En effet, en 2002, ces auteurs mentionnent que l'incidence était modérée dans la région du Pool (73 %) mais élevée en commune de Brazzaville (81 %), dans la cuvette centrale (82 %) et dans la région des plateaux (84 %). De même, en 2003, l'incidence demeurait encore plus faible dans la région de Pool (78 %) pendant que les incidences les plus élevées étaient obtenues dans la région de Sangha (94,7 %), dans la commune de Brazzaville (82,8 %), dans la cuvette centrale (84,4 %), dans la

région de Plateaux (82,5 %), dans la cuvette orientale (86,9 %), dans la région de Lekoumou (90,7 %) et dans les régions de Bouenza (88,2 %), de Likouala (90 %) et de Niari (91,7 %).

4.2. SÉVÉRITÉ DE LA MOSAÏQUE AFRICAINE DU MANIOC (MAM)

Les résultats de cette étude indiquent que la sévérité de la MAM dans le milieu d'étude est en moyenne de 12,24±8,22 %. Cette valeur reste néanmoins inférieure à celle rapportée par [20] à Kindu (province du Nord-Kivu, République Démocratique du Congo) qui a trouvé des valeurs oscillant de 53 à 85,48 % selon les localités/sites et en moyenne de 72 %. Des valeurs plutôt inférieures à celle obtenue dans cette étude montrent que la sévérité varie de 2,80 dans la zone soudano-guinéenne à 2,94 dans la zone soudano-oubanguienne de la République Centrafricaine alors que pour l'ensemble des zones prises en considération dans leur étude, l'indice de sévérité de 2,88 [22]. Dans les régions de Côte d'Ivoire, [10] a obtenu une sévérité moyenne de 2,11 % à Belier, 2,51 % à Boukani, 2,01 % à Gbeke, 2,11 % à Gontougo, 2,01 % à Hambol, 2,35 % à Indenie Djuablin et 2,01 % à Tchologo. Dans 10 provinces du Burundi, [39] ont trouvé de valeurs de la sévérité de la MAM de 2,8 % à Bujumbura, 3 % à Kayanza, 3,1 % à Ngozi, 4,0 % à Kirundo, 4,1 % à Muyinga, 3,3 % à Karuzi, 3,4 % à Gitega, 3,8 % en Muramvya, 3,5 % à Ruyigi et 3,5 % à Rutana.

4.3. INFLUENCE DES SYSTÈMES DE CULTURE SUR L'INCIDENCE ET LA SÉVÉRITÉ DE LA MAM

Les résultats de cette étude révèlent une différence très hautement entre les valeurs moyennes de l'incidence de la MAM en fonction des systèmes de culture et en fonction des 5 carrés. Ces différences significatives indiquent d'une part, que la maladie n'a pas la même ampleur entre les systèmes de culture adoptés dans les champs et d'autre part, quel que soit le système de culture adopté, cette maladie ne semble pas se distribuer uniformément sur l'ensemble d'un même champ. En effet, les valeurs moyenne et maximale de l'incidence de la MAM sont plus élevées en monoculture de manioc qu'en association culturale ou en système agroforestier. Pour la monoculture, la moyenne est de 39,52 % contre 12,10 % pour les agroforêts et 22,36 % pour les associations de culture (tableau 2). Par ailleurs, comme pour la présente étude, nombreux travaux ont mis en évidence l'influence des systèmes de culture sur la réduction des infestations des maladies et des ravageurs en Afrique tropicale. En effet, une étude de la FAO [41] a montré que les infestations de la chenille légionnaire d'automne (*Spodoptera frugiperda* J.E Smith) varient en fonction des systèmes de culture et que les systèmes agroforestiers et les associations culturales présentent des taux d'agressivité inférieurs par rapport à la culture pure (monoculture). Ces résultats de la FAO mettent aussi en avant quelques associations culturales qui auraient présenté des différences de sensibilité quant à l'attaque de cette chenille légionnaire d'automne, il s'agit notamment de l'association maïs-arachide, maïs-riz, maïs-choux. Complétant les observations faites par FAO (2018), les résultats de [42] ont montré que la sévérité de l'infestation de la chenille légionnaire d'automne (*Spodoptera frugiperda* J.E Smith) était le plus faible lorsque l'on applique la technologie push pull climato-intelligente (1,37± 0,581 %) et les différences d'infestations étaient très significatives (p-value < 0,001) entre le maïs intercalé avec des légumineuses (1,97± 0,901% pour l'association maïs-haricot, 2,17± 0,87 % pour le maïs-soja et 2,14± 0,91 % pour le maïs-arachide) et le maïs cultivé en monoculture (2,91± 1,22 %). Ces résultats sont similaires à ceux de [43] qui ont également observé une réduction de l'incidence, de la sévérité et du nombre de larves dans les technologies push pull contrairement à la monoculture de maïs. En effet, [43] évoquent une réduction significative de 82,7% du nombre moyen de larves par plante et de 86,7% des dommages aux plantes par parcelle ont été observés dans les parcelles push-pull adaptées au climat par rapport aux parcelles de monoculture de maïs. Les résultats obtenus par [44] dans la région de Kisangani (République Démocratique du Congo) mentionne aussi l'hypothèse selon laquelle les agroforêts joueraient un rôle important dans le contrôle de maladies et ravageurs car il constaté que les attaques de charançon des bananiers étaient estimés à 53,3% au sein du système agroforestier contre 49,9% en forêt secondaire, 72,9% en jachère et 71,4% en jardin de case. De même, cet auteur a trouvé que les plantations des bananiers sous-système agroforestier ainsi que celles situées dans les forêts secondaires présentent des faibles densités moyennes des nématodes estimées à 55 et 74 individus pendant que les jachères et les jardins de case en ont des valeurs beaucoup plus élevées soit respectivement 103 et 121 individus. La référence [44] conclut en disant que la prévalence, la sévérité et la diversité tant du charançon que de nématodes de bananiers, sont réduits de 20 à 30% en système agroforestier et en forêt secondaire, par rapport aux systèmes en jachère et en jardin de case, quel que soit l'âge de la bananeraie. Les conclusions formulées par [45] vont dans le même sens que celles de cette étude. D'après son étude effectuée en région de Kisangani sur la culture de bananier, tous les cultivars sont sensibles aux attaques de charançon quel que soit le type de culture, avec des taux très élevés, supérieurs à 60% mais les taux d'attaque les plus élevés sont enregistrés sur des cultures issues de jachère que les cultivars de forêt secondaire et du système agroforestier. En fait, selon [46], dans les systèmes agroforestiers, les services de régulation des bioagresseurs résultent d'un ensemble de processus complexes qui interagissent entre eux à différentes échelles. L'effet net de la diversité végétale des agroécosystèmes sur les bioagresseurs varie en fonction des espèces cultivées ou non cultivées, des traits de vie de ces bioagresseurs, du profil des communautés d'ennemis naturels et des conditions du milieu. Cette affirmation rejoint les résultats de cette étude où les types de cultures ou d'arbres associés au manioc ont influencé l'incidence et la sévérité de la MAM.

4.4. INFLUENCE DES CULTIVARS ET/OU DES VARIÉTÉS SUR L'INCIDENCE ET LA SÉVÉRITÉ DE LA MAM

Prenant en compte les cultivars de manioc au sein de chaque champ, on constate une différence très hautement significative de l'incidence de la MAM ($p\text{-value}=2.10^{-16}***<0,05$). Entre les 5 carrés installés dans chaque champ, on observe une différence hautement significative ($p\text{-value}=0,00963**<0,05$). Le pourcentage d'incidence le plus élevé a été observé au niveau du champ où l'on cultive le cultivar *Kivuho* (62,52 %), *Muselele* (37,34 %), *Balulu* (22,10 %) et *Mungana* (20,06 %) (tableau 3). En 1984, [23] a constaté des différences de sensibilité à l'infection des 7 variétés: les variétés BR1, BR2 et H57 présentent un pourcentage de contamination inférieur à 25 % alors que celui-ci dépassait les 65 % pour les variétés CB, H58, Ta49 et BB. La référence [6] a trouvé une différence significative entre les cultivars avec une moyenne de 81,7 % pour le cultivar *Nsanginsangi*, 70,7 % pour le cultivar *Caoutchouc*, 65 % pour le cultivar *Projet* et 52,8 % pour le cultivar *Mankanu*. Dans une étude comparative de la sensibilité à la MAM chez 3 variétés de manioc (*Manihot esculenta* Crantz) avant et après greffage, [12] ont trouvé des valeurs de sévérité de 54,3±1,4 % pour la variété Alot-Bikon, 51,6±1,4 % pour la variété IITA 8034, 24,1±0,9 % pour la variété IITA 8061 avant greffage et 9,4±0,6 %, 7,8±0,6 % et 3,1±0,6 % respectivement pour les mêmes variétés après greffage. Dans la région de Yangambi (République Démocratique du Congo), [24] a constaté une différence significative de l'incidence et de la sévérité de 14 variétés de manioc. En effet, cet auteur évoque le fait que la mosaïque africaine du manioc a eu une incidence plus élevée sur les variétés locales allant de 6,60% à 94% avec une sévérité de symptômes dans l'intervalle de 2 à 3; comparativement aux variétés améliorées de l'IITA qui présentent une incidence très faible allant de 0 à 7,4% et également une sévérité très faible allant de 1 à 2. Il remarque cependant une faible incidence sur *Lueki* (TMS 91/377) de 7,40% suivi de *Zizila* (MV 99/0038) de 6,25% et de *Mvuama* (TMS 83/138) de 2,31% [24]. Ces résultats démontrent que l'aptitude à exprimer les symptômes est liée au caractère propre à chaque cultivar. Dans les régions de la République du Congo, [21] ont trouvé des pourcentages d'incidence différents en fonction des cultivars: *Nzete ya Mbongo* (90,8 %), *MM 86* (68,4 %), *Ongana* (92 %), *Ewur Oyebe* (82 %), *Limbwana* (95,4 %), *Onganyinga* (95,2 %), *Mwenbale Okisi* (85,3 %), *Oke-Ola* (95,4 %), *Mopoukou* (89,2 %), *Oke-Ofi* (65,2 %), *Ebobo* (83,3 %), *Omanyinga* (75,6 %), *Opepembe* (90 %) et *Muduma* (88,3 %). Par contre, les valeurs de la sévérité de la MAM pour les mêmes cultivars sont: *Nzete ya Mbongo* (2,9 %), *MM 86* (2,9 %), *Ongana* (3,2 %), *Ewur Oyebe* (2,9 %), *Limbwana* (3,3 %), *Onganyinga* (3,5 %), *Mwenbale Okisi* (2,8 %), *Oke-Ola* (3,4 %), *Mopoukou* (3,0 %), *Oke-Ofi* (2,4 %), *Ebobo* (3,0 %), *Omanyinga* (2,7 %), *Opepembe* (3,1 %) et *Muduma* (3,4 %). Les résultats de [15] montrent aussi une différence entre le taux d'incidence de la MAM en fonction des 4 variétés de manioc (*Manihot esculenta* Crantz): *Ngon Kribi* (93,94 %), *Ekobe* (97,62 %), *8034* (29,58 %), *96/1414* (5,48 %) et *92/0326* (2,64 %). L'analyse des résultats susmentionnés permettent de constater une grande variabilité de l'incidence et de la sévérité de la MAM en fonction des cultivars adoptés dans la région considérée. Ainsi d'après [23], la résistance d'une variété à la mosaïque africaine du manioc est composée de plusieurs facteurs que l'on peut réunir en 2 groupes: les facteurs intervenant dans les relations vecteur-plante (activité et population du vecteur, attractivité, couleur, pilosité des feuilles, résistance à l'inoculation, etc.), les facteurs intervenant dans les relations virus-plante (multiplication du virus, expression des symptômes, données physiochimiques). L'ensemble de ces relations se trouve incluse dans un ensemble plus vaste (l'environnement) susceptible de variations et influençant le complexe plante-virus-vecteur.

5. CONCLUSION

La situation phytosanitaire causée par la mosaïque africaine de manioc est un réel problème pour lequel les cultivateurs de la région de Beni en général et de la localité de Kivira en particulier subissent des graves conséquences. Cette maladie a des effets énormes sur le fonctionnement physiologique des plants notamment la photosynthèse, principal processus d'élaboration de la matière organique suite à l'atteinte de sérieuse des feuilles. Ainsi, les résultats de cette étude ont permis de montrer l'influence des systèmes de culture sur l'incidence et la sévérité de la MAM en localité de Kivira. Les associations culturales et les systèmes agroforestiers présentent des taux faibles d'attaques (< 43 %) pour l'incidence et moins de 30 % pour la sévérité. Avec les résultats obtenus, nous pouvons suggérer que les agriculteurs s'approprient l'approche de l'agroforesterie pour limiter les attaques de la MAM. A plus, nous recommandons aussi aux futurs chercheurs d'intensifier les études sur les mécanismes de propagation et d'évolution cette maladie dans la région en évaluant les pertes réelles de rendement.

REFERENCES

- [1] B. James et al., Production du gari à partir du manioc: Guide illustré à l'intention des transformateurs de manioc à petite échelle. Institut international d'agriculture tropicale (IITA) : Ibadan, Nigeria, 2013.
- [2] N. BRICAS, C. TCHAMDA, and F. MOUTON, L'Afrique à la conquête de son marché alimentaire intérieur. Enseignements de dix ans d'enquêtes auprès des ménages d'Afrique de l'Ouest, du Cameroun et du Tchad, AFD. Paris, 2016.
- [3] L. MEZALI, D. SAIDJ, and F. MEBKHOUT, "Production, commercialisation et consommation du lapin de chair en Algérie : quelle place parmi les autres filières viande," in 15èmes Journées Sciences du Muscle et Technologies des Viandes - 4 et 5 novembre 2014 - Clermont-Ferrand, 2014, pp. 45–46.
- [4] G. Kmec, "Atteindre une sécurité alimentaire durable : analyse des solutions de rechange à l'agriculture conventionnelle," Maîtrise en environnement, Université de Sherbrooke (Québec), 2016.
- [5] Anonyme, Évaluation de la Campagne Agricole, Impact des Maladies Zoo phytosanitaires, Sécurité Alimentaire et nutritionnelle 2018-2019 en République Démocratique du Congo, Rapport. Kinshasa, 2019.
- [6] N. Kadima Kabemba, J. Munganga Gikug, F. Bulubulu Otono, and S. N. D. Mutambel Hity, "Incidence et sévérité de la mosaïque africaine du manioc dans les champs et les jardins de case à Kinshasa (République Démocratique du Congo)," *Tropicultura*, vol. 35, no. 3, pp. 173–179, 2017, doi: 10.25518/2295-8010.1246.
- [7] IPC, "République Démocratique du Congo. Analyse IPC de l'insécurité alimentaire aigüe. Juillet 2019-Mai 2020. 17ème Cycle," pp. 1–24, 2020.
- [8] ACF International, Étude finale du projet Amélioration de la diète et éradication de l'intoxication alimentaire appelée Konzo dans le Kwango, Province du Bandundu République Démocratique du Congo, Rapport. Kwango, 2011.
- [9] FAO, Champs-écoles paysans sur le manioc. Ressources à l'intention des facilitateurs d'Afrique sub-saharienne. Rome, 2014.
- [10] N.-E. Beugré, "Étude épidémiologique des maladies virales du manioc [Manihot esculenta Crantz (Euphorbiaceae)] dans les régions du Nord-Est de la Côte d'Ivoire," Mémoire de Master 2 de Productions Végétales, Université Nangui Abrogoua, 2017.
- [11] P. Vernier, B. N'Zué, and N. Zakhia-Rovis, Le manioc, entre culture alimentaire et filière agro-industrielle. CTA, Editions Quae et Presses Universitaires de Gemboux, Wageningen, Versailles, Gembloux, 2018.
- [12] Z. Ambang, A. Amougou, B. Ndong, J. Nantia, and G. M. Chewachong, "Résistance à la mosaïque virale de Manihot glaziovii par greffage sur M. esculenta," *Tropicultura*, vol. 27, no. 1, pp. 8–14, 2009.
- [13] H. S. Kapongo, "Comparaison des effets des différentes fumures organiques sur la croissance et la production du manioc. Cas des feuilles de Tithonia diversifolia, les excréments des chèvres et la bouse de vaches," *Rev. l'Université Congo.*, vol. 2, no. 044, pp. 355–368, 2020.
- [14] M. Abderahim, M. Diatte, B. Labou, G. Sow, and K. Diarra, "Inventaire et distribution des principaux arthropodes ravageurs du manioc (Manihot esculenta CRANTZ) au Tchad," *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, vol. 12, no. 6, pp. 2589–2601, 2018, doi: <http://indexmedicus.afro.who.int>.
- [15] A. Mogo, E. Temgoua, J. D. Fovo, J. F. Nopogwo, E. L. N. Mangaptche, and R. Ghogomu, "Evaluation de quelques cultivars de manioc (Manihot esculenta Crantz) en fonction des populations de mouches blanches (Bemisia tabaci Genn), des maladies et de la fertilisation du sol [Field agronomic evaluation of some cassava cultivars (Manihot esculenta Crantz) against whiteflies (Bemisia tabaci Genn), diseases African Cassava Mosaic disease in tropical humid forest ecology of Cameroon]," vol. 26, no. 4, pp. 1329–1345, 2019.
- [16] I. Zinga, C. R. Nguimalet, D. P. Lakouetene, G. Konate, E. Kosh Komba, and S. Semballa, "Les effets de la mosaïque africaine du manioc en République Centrafricaine," *Geo. Eco. Trop.*, vol. 32, pp. 47–60, 2008.
- [17] R. Hilllocks and J. Thresh, "Les viroses de la mosaïque et de la striure brune du manioc en Afrique," *Roots*, vol. 7, no. Special Issue, pp. 1–7, 2000.
- [18] G. Otim-Nape, "Importance, production, exploitation du manioc en Ouganda," pp. 189–202, 1986.
- [19] J. Bubern, La mosaïque du manioc: bilan des Connaissances Actuelles. Officie de recherche scientifique et Technique, Centre d'Adiopogoumé, Abidjan (Côte d'Ivoire), 1976.
- [20] M. Mutuza Bakuzesia, "Les effets de la Mosaïque Africaine du Manioc à Kindu et ses environs (RD Congo)," *Int. J. Innov. Applied Stud.*, vol. 26, no. 2, pp. 445–456, 2019, [Online]. Available: <http://www.ijias.issr-journals.org/>.
- [21] P. Ntawuruhunga, A. Bembe, M. Obambi, J. C. A. Mvila, and J. P. Legg, "INCIDENCE AND SEVERITY OF CASSAVA MOSAIC DISEASE IN THE REPUBLIC OF CONGO," *African Crop Sci. J.*, vol. 15, no. 1, pp. 1–9, 2007.
- [22] S. Silla et al., "ETUDE DE L'ETAT PHYTOSANITAIRE DU MANIOC EN REPUBLIQUE CENTRAFRICAINE ET DE LA VARIABILITE DES SOUCHES VIRALES EN CIRCULATION," *Lab. des Sci. Biol. Agron. pour le Développement*, pp. 1–22, 2008.
- [23] J. Laville, Etude de la mosaïque africaine du manioc (Manihot esculenta, CRANTZ): comportement variétal, épidémiologie, composantes du rendement et mytilocal. Institut Français de recherche scientifique pour le développement en coopération, O.R.S.T.O.M, Centre d'Adiopodoumé, Abidjan (Côte d'Ivoire), 1984.

- [24] T. K. G. Monde, "Epidémiologie, diversité génétique et phylogéographie des virus de la mosaïque africaine du manioc dans la région de Yangambi en République Démocratique du Congo," Université Catholique de Louvain, Prom. : Bragard, Claude ; Walangululu, Jean, <http://hdl.handle.net/2078.1/69101>, 2010.
- [25] A. Muimba-Kankolongo, G. Guyolo, N. M. Mahungu, and S. J. Pandey, "Stratégies de sélection de variétés résistantes aux principales maladies au Programme National Manioc (PRONAM) du Zaïre," in *Plantes-Racines tropicales, les plantes-Racines et la crise alimentaire en Afrique. Compte rendu du troisième symposium triennal de la Société internationale pour les plantes-racines tropicales*, Direction Afrique, du 17 au 23 août 1986, Owerri, Nigeria, 1986, pp. 134–138.
- [26] C. M. Fauquet, D. Fargette, and J.-C. Thouvanel, "Impact de la mosaïque africaine du manioc sur la croissance et le rendement du manioc," ORSTOM, pp. 19–22, 1988.
- [27] Anonyme, *Enquêtes nutritionnelles territoriales province du Nord-Kivu. Rapport de synthèse*. Goma, 2016.
- [28] L. Kasay, "Dynamisme Démo-Géographique et mise en valeur de l'Espace en milieu équatorial d'altitude : Cas du Pays Nande au Kivu Septentrional, Zaïre.," Thèse Doctorat en Géographie, Université de Lubumbashi, Lubumbashi, 1988.
- [29] D. Kujirakwinja, G. Bashonga, and A. Plumptre, *Etude socio-économique de la zone nord ouest du Parc National des Virunga (région de Lubero-Butembo-Beni)*, WWF, WCS,. « Programme de renforcement des capacités de gestion de l'ICCN et appui à la réhabilitation d'aires protégées en RDC », Feuille technique n°2, 2007.
- [30] M. Bweya, M. C. Musavandalo, and M. Sahani, "Analyse de la dynamique spatio-temporelle du paysage forestier de la région de Beni (Nord-Kivu, RDC)," *Geo. Eco. Trop.*, vol. 43, no. 1, pp. 171–184, 2019.
- [31] K. E. Vyakuno, "Pression anthropique et aménagement rationnel des hautes terres de Lubero en R.D.C. Rapports entre société et milieu physique dans une montagne équatoriale. Tome I et II," Université de Toulouse II-Le Mirail, 2006.
- [32] O. Mirembe, "Echanges transnationaux, réseaux informels et développement local : une étude au Nord-Est de la République Démocratique du Congo," Thèse de doctorat en sciences sociales, Université Catholique de Louvain, 2005.
- [33] FAO, *Training manual on Fall Armyworm*. FAO, Rome, 2017.
- [34] K. Aka, N. K. Kouassi, T. A. Agnéroh, N. Amancho, and A. Sangaré, "Distribution et incidence de la mosaïque du concombre (CMV) dans des bananeraies industrielles au Sud-Est de la Côte d'Ivoire.," *Sci. Nat.*, vol. 6, no. 2, pp. 171–183, 2009.
- [35] K. Koudahe, "Inventaire des insectes ravageurs et maladies de la patate douce (*Ipomea batatas* Lam.) au Bénin : Cas de la station expérimentale de l'IITA-Bénin," Mémoire de licence en production végétale, Université de Lomé, 2012.
- [36] O. H. Issoufou, S. Boubacar, T. Adam, and Y. Boubacar, "Identification des insectes, parasites et évaluation économique de leurs pertes en graines sur les variétés améliorées et locale de niébé en milieu paysan à Karma (Niger)," *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, vol. 11, no. 2, pp. 694–706, 2017.
- [37] F. DE MENDIBURU, "Agricolae : Statistical Procedures for Agricultural Research. R package version 1.3.5.," 2021, doi: <https://CRAN.R-project.org/package=agricolae>.
- [38] R Core Team, *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria, 2021.
- [39] S. Bigirimana and J. Legg, "La menace de la pandémie de la mosaïque du manioc sur la production et ses conséquences au Burundi," *Proc. 13th ISTRC Symp.*, pp. 359–364, 2007.
- [40] I. ZINGA, R. CNGUIMALET, D. P. LAKOUETENE, G. KONATE, E. KOMBA KOSH, and S. SEMBALLA, "Les effets de la mosaïque africaine du manioc en République Centrafricaine The impacts of African cassava mosaic in Central African Republic," *Geo. Eco. Trop.*, vol. 32, pp. 47–60, 2008.
- [41] FAO, *Gestion intégrée de la chenille légionnaire d'automne sur le maïs. Un guide pour les champs-écoles des producteurs en Afrique*, FAO. Rome, 2018.
- [42] G. Hailu, S. Niassy, K. R. Zeyaur, N. Ochatum, and S. Subramanian, "Maize-legume intercropping and push-pull for management of fall Armyworm, Stem borers, and Striga in Uganda," *Agron. J.*, vol. 110, no. 6, pp. 2513–2522, 2018, doi: [10.2134/agronj2018.02.0110](https://doi.org/10.2134/agronj2018.02.0110).
- [43] C. A. O. Midega, J. O. Pittchar, J. Pickett, G. W. Hailu, and Z. R. Khan, "A climate-adapted push-pull system effectively controls fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J E Smith), in maize in East Africa.," *Crop Prot.*, vol. 2018, no. 105, pp. 10–15, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.11.003>.
- [44] L. Makiso, "Systèmes de culture et ravageurs des bananiers en milieu forestier de la région de Kisangani (RDC) : Prévalence et diversité.," Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de DES/DEA/Master en Gestion de Biodiversité et Aménagement Forestier Durable, Université de Kisangani, 2015.
- [45] K. Songbo, "Evaluation de l'infestation du *Cosmopolites sordidus* de bananiers dans les systèmes de culture de la région de Kisangani," Mémoire de DEA, IFA/Yangambi, Université de Kisangani, 2010.
- [46] L. Bagny Beilhe et al., "ET SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES," in *Agroforesterie et services écosystémiques en zone tropicale*, Editions Q., J. Seghier and J.-M. Harmand, Eds. 2019, pp. 229–242.