



Dynamique spatio-temporelle de la pullulation du scolyte des graines de café (*Hypothenemus hampei* Ferrari, 1867) : cas des régions de Moualo, Mbengui et Memba dans le bassin caféier de la Ngounié (Sud Gabon)

Raphaëlle Walla Obiang^{1,3*}, Pamphile Nguema Ndoutoumou^{1,2}, Zéphirin Tadu³, Champlain Djieto-Lordon³

⁽¹⁾Institut de Recherches Agronomiques et Forestières. Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique. Laboratoire de Biotechnologies végétales. BP 2246 Libreville (Gabon). E-mail : zemoraphijoe@yahoo.fr

⁽²⁾École Normale Supérieure de Libreville. Département des Sciences de la Vie et de la Terre. Unité d'Enseignement et de Recherche Sciences et Technologies. BP 17009 Libreville (Gabon).

⁽³⁾University of Yaoundé I. Faculty of Science. Department of Animal Biology and Physiology. Laboratory of Zoology. P.O. Box 812 Yaoundé (Cameroun).

Reçu le 20 juillet 2026, accepté le 10 septembre 2026, publié en ligne le 29 septembre 2026

DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/rafea.v9i3.3>

RESUME

Description du sujet. Le scolyte du grain de café (*Hypothenemus hampei*) est le principal ravageur des cultures caféières et compromet la productivité de la filière café dans le bassin caféier de la Ngounié, au Sud du Gabon.

Objectif. L'étude vise à caractériser la distribution spatiale et la dynamique temporelle de la pullulation des scolytes dans trois écosystèmes caféiers contrastés du bassin de la Ngounié, au Sud du Gabon.

Méthodes. Des cerises de café ont été échantillonnées sur quatre saisons climatiques (GSP, GSS, PSP, PSS) dans trois sites contrastés : une forêt dense (Moualo), une savane de plaine (Mbengui) et une zone de transition forêt-savane (Memba) totalisant 18 000 cerises analysées.

Résultats. La prévalence globale d'infestation atteint 63,4 %, avec des variations significatives selon les sites et les saisons. Le site de Memba présente la pullulation la plus forte (96,0 % de cerises scolytées), contre 49,2 % à Moualo et 45,7 % à Mbengui. Le pic d'infestation coïncide avec la Petite Saison Sèche (73,5 %). Une corrélation positive significative a été observée entre l'altitude, l'âge des arbres et le degré de pullulation.

Conclusion. Ces résultats mettent en évidence l'urgence d'une stratégie de lutte intégrée différenciée par écosystème, respectueuse de l'environnement.

Mots-clés : Cerises de café, pullulation *Hypothenemus hampei*, écosystème, infestation, bassin caféier de la Ngounié/Sud Gabon

ABSTRACT

Spatio-temporal dynamics of coffee berry borer (*Hypothenemus hampei* Ferrari, 1867) outbreaks: the case of Moualo, Mbengui, and Memba regions in the Ngounié coffee basin (South Gabon)

Description of the subject. The coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) is the primary pest of coffee crops, compromising the productivity of the coffee sector in the Ngounié coffee basin, South Gabon.

Objectives. The study aims to characterize the spatial distribution and temporal dynamics of the coffee berry borer outbreaks across three contrasting coffee ecosystems within the Ngounié basin, South Gabon.

Methods. Coffee berries were sampled over four climatic seasons (Great Rainy Season, Great Dry Season, Short Rainy Season, Short Dry Season) across three contrasting sites: a dense forest (Moualo), a lowland savanna (Mbengui), and a forest-savanna transition zone (Memba), totaling 18,000 analyzed berries.

Results. The overall infestation prevalence reached 63.4 %, with significant variations across sites and seasons. The Memba site exhibited the highest outbreak level (96.0 % of bored berries), compared to 49.2 % in Moualo and 45.7 % in Mbengui. The peak infestation coincided with the Short Dry Season (73.5 %). A significant positive correlation was observed between altitude, tree age, and the severity of the outbreak.

Conclusion. These results highlight the urgent need for an integrated pest management strategy tailored to each ecosystem and respectful of the environment.

Keywords: Coffee berries, *Hypothenemus hampei* outbreak, ecosystem, infestation, Ngounié coffee basin/South Gabon.

1. INTRODUCTION

Le scolyte des graines de café, *Hypothenemus hampei* Ferrari (Coleoptera : Curculionidae, Scolytinae), est reconnu comme le ravageur le plus dévastateur des cultures caféières à l'échelle mondiale, causant des pertes économiques annuelles estimées entre 500 millions et 1 milliard de dollars (Vega *et al.*, 2009 ; Jaramillo *et al.*, 2021). Ce coléoptère endophyte, dont la femelle creuse la graine pour y déposer ses œufs, voit ses larves se développer entièrement à l'intérieur de celle-ci. Cette particularité rend sa détection précoce ainsi que la mise en œuvre de mesures phytosanitaires particulièrement difficiles (Jaramillo *et al.*, 2006 ; Infante *et al.*, 2020).

En Afrique centrale, et au Gabon en particulier, *H. hampei* est l'une des principales contraintes de la filière café (Coffea canephora), pilier agro-économique de plusieurs provinces dont la Ngounié, second bassin de production national (Nguema, 2015). La compréhension de la distribution spatio-temporelle des insectes ravageurs est un préalable indispensable à la conception de stratégies d'échantillonnage et de lutte intégrée efficaces (Deguine *et al.*, 2017 ; Harbi *et al.*, 2021). Dans le cas du scolyte *H. hampei*, les données disponibles sont celles réalisées en Amérique latine, en Afrique de l'Est et en Afrique de l'Ouest (Wegbe, 2001), qui documentent une distribution agrégée modulée par les conditions microclimatiques, l'altitude, la phénologie du caféier et les pratiques culturales (Mugo *et al.*, 2016 ; Navarro-Llopis *et al.*, 2020).

Cependant, les données relatives au contexte gabonais et plus précisément celles de la Ngounié (forêts denses humides, savanes de plaine et zones de transition forêt-savane) demeurent fragmentaires dans la littérature scientifique. Cette étude vise à caractériser la distribution des scolytes en fonction de variables géographiques (sites, altitudes), temporelles (saisons) et de l'influence de l'âge des arbres (chronoséquence).

L'intérêt de cette étude est double. Sur le plan scientifique, elle comble un vide documentaire important, aucune donnée quantitative sur la bioécologie spatio-temporelle d'*H. hampei* n'étant jusqu'ici disponible pour les agrosystèmes caféiers gabonais, contrairement aux contextes est-africain

et latino-américain déjà documentés. Sur le plan appliqué, elle fournit aux producteurs et aux services de vulgarisation agricole de la Ngounié des repères concrets, sites, saisons et altitudes à risque, permettant de cibler les interventions phytosanitaires dans le temps et l'espace plutôt que de traiter uniformément l'ensemble des parcelles, réduisant ainsi les coûts de lutte et les pertes de production liées à ce ravageur.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Zone d'étude

L'étude a été réalisée dans la province de la Ngounié, au sud du Gabon (01°47' et 02°17' N ; 011°03' et 011°46' E). Cette zone représente le deuxième bassin de production du pays, regroupant en son sein plusieurs types d'agrosystèmes caféiers (Wintgens, 2009). Trois sites ont été retenus pour cette étude (Figure 1). Ces sites d'étude sont caractérisés par un climat équatorial de transition à quatre saisons alternées : Grande Saison Sèche (GSS, mi-juin à mi-septembre), Grande Saison des Pluies (GSP, mars à mi-juin), Petite Saison Sèche (PSS, décembre à février) et Petite Saison des Pluies (PSP, mi-septembre à novembre). Trois plantations caféières représentant des écosystèmes contrastés ont été sélectionnées selon un gradient d'altitude et de physionomie végétale (Tableau 1) : Moualo (forêt dense humide), Mbengui (savane de plaine semi-inondée) et Memba (zone de transition forêt-savane d'altitude).

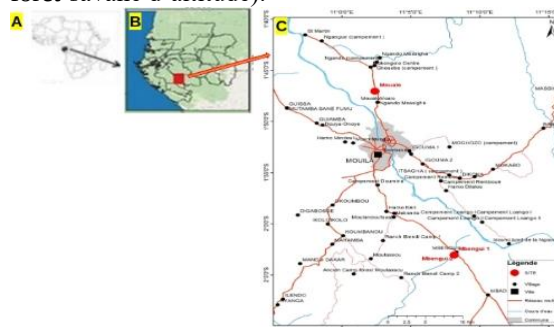


Figure 1. Carte de localisation des sites d'échantillonnage. A : Position du Gabon en Afrique ; B : Position de la Ngounié au Gabon ; C : Localisation des sites d'échantillonnage (Moualo, Mbengui, Memba)

Tableau 1. Caractéristiques des trois sites d'étude dans le bassin de la Ngounié (Gabon)

Site	Écosystème	Coordonnées	Altitude (m)	Année impl.	Âge moy. (ans)	Traitement	Surface
Moualo	Forêt dense humide	01°78'N, 011°03'E	64-180	2012	9	Aucun	1 ha
Mbengui	Savane de plaine	02°05'N, 011°13'E	64-91	2013	8	Tamega®	3 ha
Memba	Zone de transition	02°16'N, 011°46'E	190-220	2004	17	Mécanique	13 ha

Protocole d'échantillonnage

L'échantillonnage s'est fait selon le protocole de Mugo *et al.* (2016) pour l'échantillonnage standardisé des populations d'*H. hampei*, adapté aux conditions d'Afrique centrale. Dans chaque site, un quadrat de référence de 500 m² (25 m × 20 m) a été délimité au centre de la plantation, à une distance minimale de 20 m des bordures afin d'éliminer les effets de lisière (Willson *et al.*, 2019). Trente caféiers (*Coffea canephora* Pierre) ont été sélectionnés selon un plan systématique en double grille (quatre pieds par côté et quatre en diagonale centrale), conformément aux recommandations de Navarro-Llopis *et al.* (2020) pour les études de distributions agrégées.

À chaque passage saisonnier mi-juillet (GSS), mi-octobre (PSP), mi-janvier (PSS) et mi-avril (GSP), cinquante cerises ont été prélevées à la main sur chaque arbre, réparties équitablement pour l'ensemble des sites selon la méthode de Le Pelley (1968). Le matériel utilisé comprenait des sacs en tissu à mailles fines (référence INRA-entomo, 200 µm) pour le transport des cerises, une loupe binoculaire stéréoscopique (Olympus SZ61, grossissement ×10 à ×40) pour l'examen individuel des cerises et le dénombrement des insectes, un pied à coulisse numérique pour la mesure des cerises perforées, et un GPS de terrain (Garmin Trex 30x) pour les coordonnées géographiques de chaque pied échantillonné. L'échantillonnage total porte sur 18 000 cerises (3 sites × 30 arbres × 50 cerises × 4 saisons). Pour chaque cerise, les variables enregistrées étaient le statut sanitaire (saine/scolytée), le nombre d'insectes adultes présents (indice de pullulation, IP), le niveau de destruction (Dn0 à Dn5, selon l'échelle de Brun *et al.*, 1993), et les coordonnées spatiales dans le quadrat (abscisse x, ordonnée y en m).

Analyses statistiques

Le tableur Microsoft Excel 2007® a été utilisé pour la saisie et le traitement des données. Les statistiques descriptives ont été réalisées avec le logiciel XLSTAT pour évaluer la prévalence et l'intensité de la pullulation. L'analyse de corrélation a été réalisée via le coefficient de Pearson pour mesurer les relations linéaires entre

les variables quantitatives. L'analyse en composantes principales (ACP) a permis d'évaluer la typologie entre les différentes variables (altitude, saison, âge, écosystème, indice de pullulation, niveau de destruction, infestation, traitement, etc.) (Lebart *et al.*, 1995 ; Cattell, 1966 ; Husson *et al.*, 2017 ; Kassambara, 2017).

La nature de la distribution spatiale d'*H. hampei* a été évaluée par l'indice de dispersion de Taylor (ID = variance/moyenne). Un ID significativement supérieur à 1 indique une distribution agrégée ; ID = 1 correspond à une distribution aléatoire de Poisson ; ID < 1 à une distribution uniforme (Elliott, 1977 ; Taylor, 1961). La significativité de l'écart à 1 a été testée par le chi-deux ($\chi^2 = ID \times (n-1)$, ddl = n-1 ; Southwood et Henderson, 2000). Les effets des facteurs site et saison sur l'IP ont été testés par l'ANOVA à un facteur (test F de Snedecor), suivie du test de comparaisons multiples de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$; Shapiro et Wilk, 1965). La corrélation entre l'altitude et l'IP a été évaluée par le coefficient de Pearson r.

3. RÉSULTATS

L'étude s'appuie sur une base de données de 18 000 cerises, réparties équitablement sur trois sites (Mbengui, Memba et Moualo) avec 6 000 cerises par site. Les données couvrent quatre saisons : Grande Saison Pluvieuse (GSP), Grande Saison Sèche (GSS), Petite Saison Pluvieuse (PSP) et Petite Saison Sèche (PSS), avec 4 500 observations par saison.

3.1. Analyse en composantes principales (ACP)

L'analyse de l'ACP (Figure 2) révèle que la composante principale (CP1) explique 59,3 % de la variance et traduit l'intensité écosystémique, qui regroupe de nombreuses variables, notamment : l'âge, le type de traitement, l'écosystème, l'altitude, le niveau de destruction, le niveau d'infestation et l'indice de pullulation (IP). La deuxième composante (CP2) explique 16,2 % de la variance et reflète l'intensité des dégâts à l'intérieur des sites. La composante CP3 représente 12,6 % de la variance et incarne la dimension temporelle.

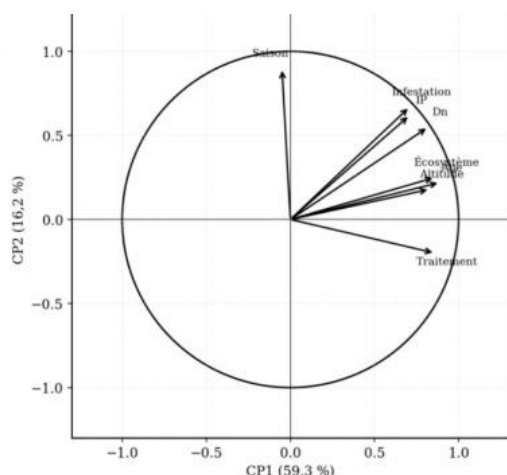


Figure 2. Cercle des corrélations de l'ACP (CP1 × CP2)

L'analyse de l'ACP montre que les variables Infestation, IP (intensité de l'infestation), Dn (niveau de destruction) et Écosystème sont positivement corrélées à CP1. Elles sont proches du cercle, indiquant une bonne représentation sur cet axe. La variable Traitement est orientée vers les valeurs négatives de CP1, suggérant une opposition entre les zones traitées et les zones infestées. La

variable Saison est très fortement corrélée positivement à CP2, indiquant que la saison est une variable importante qui influence les données selon cet axe.

3.2. Distribution spatiale : variation inter-écosystèmes

Le taux global d'infestation est de 63,4 % (11 412 cerises scolytées sur 18 000). L'indice de Taylor est significativement supérieur à 1 pour les trois écosystèmes (Moualo : ID = 1,221, $p < 0,001$; Mbengui : ID = 2,359, $p < 0,001$; Memba : ID = 1,039, $p < 0,001$), confirmant une distribution de type agrégé dans l'ensemble du bassin. L'ANOVA révèle des différences hautement significatives entre les trois écosystèmes ($F = 2\,800,8$; ddl = 2 ; $p < 0,001$). Le test de Tukey place les trois sites dans des groupes distincts ($p < 0,001$ pour chaque paire) : Memba (zone de transition) présente l'indice de pullulation le plus élevé (IP = 2,44), suivi de Mbengui (savane de plaine, IP = 1,04) et de Moualo (forêt dense, IP = 0,64) (Tableau 2).

Tableau 2. Indices d'infestation par écosystème dans le bassin de la Ngounié

Site	Écosystème	% Cerises scolytées	IP moyen	Dn moyen	ID Taylor	Groupe Tukey
Moualo	Forêt dense	49,2 %	0,64 ± 0,14	1,10	1,221	C
Mbengui	Savane de plaine	45,7 %	1,04 ± 0,22	1,34	2,359	B
Memba	Zone de transition	96,0 %	2,44 ± 0,31	3,28	1,039	A

Légende : IP = indice de pullulation ; Dn = niveau de destruction moyen (0–5) ; ID = indice de dispersion de Taylor. Groupes Tukey différents pour $p < 0,001$

3.3. Distribution temporelle : variations saisonnières

La Figure 3 montre que la saison influence significativement l'indice de pullulation ($F = 9,4$; ddl = 3 ; $p < 0,001$). La Petite Saison Sèche (PSS) correspond au pic d'infestation global avec 73,5 % de cerises scolytées, contre 58,3 % en Grande Saison Sèche, 60,3 % en Petite Saison des Pluies et 62,5 % en Grande Saison des Pluies. L'interaction site × saison est significative ($F = 8,4$; ddl = 6 ; $p < 0,001$) : Memba maintient une infestation quasi permanente (87,4 à 100 %), tandis que les fluctuations saisonnières (Δ) sont marquées à Moualo ($\Delta = 31,6$ points entre GSS et PSS) et modérées à Mbengui ($\Delta = 16,9$ points).

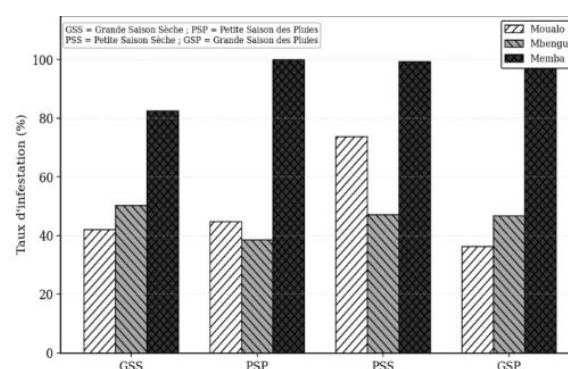


Figure 3. Taux d'infestation (% cerises scolytées) par site et par saison climatique. GSS = Grande Saison Sèche ; PSP = Petite Saison des Pluies ; PSS = Petite Saison Sèche ; GSP = Grande Saison des Pluies

La Figure 4 met en évidence l'évolution de l'indice de pullulation moyen selon les saisons climatiques et les sites étudiés. À Memba, les valeurs

demeurent systématiquement élevées, oscillant entre 2,05 (Petite Saison Sèche) et 2,62 (Grande Saison Sèche), traduisant une forte intensité de pullulation stable au fil des saisons.

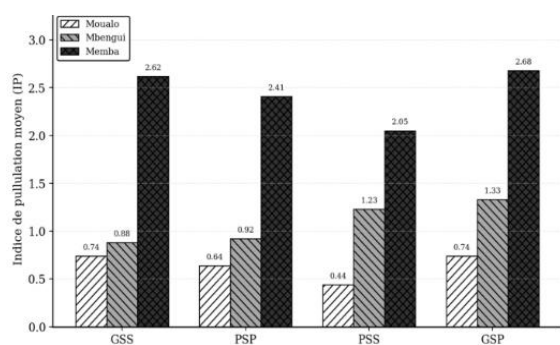


Figure 4. Indice de pullulation moyen (IP) par site et par saison climatique (N = 1 500 cerises/site/saison). NB : les valeurs indiquées au-dessus de chaque barre représentent les moyennes calculées sur 1 500 cerises par site et par saison

À Mbengui, les indices sont plus modérés, mais montrent une légère tendance à l'augmentation, passant de 0,88 en Grande Saison Sèche à 1,33 en Grande Saison des Pluies. Enfin, Moualo se distingue par des valeurs faibles et relativement stables, comprises entre 0,44 et 0,74, indiquant une infestation limitée dans la forêt dense.

3.4. Gradient altitudinal et niveaux de destruction

La corrélation entre l'altitude et l'indice de pullulation est positive et significative (r de Pearson = 0,415 ; $p < 0,001$). Les plantations situées à plus de 200 m d'altitude (Memba) présentent un IP moyen de 2,42, contre 1,02 pour les altitudes intermédiaires (100–200 m) et 0,94 pour les basses altitudes (0–100 m). L'analyse des niveaux de destruction révèle que Memba concentre 78,9 % de destructions sévères (Dn3 à Dn5), contre 46,3 % à Mbengui et seulement 10,0 % à Moualo (Figures 5 et 6).

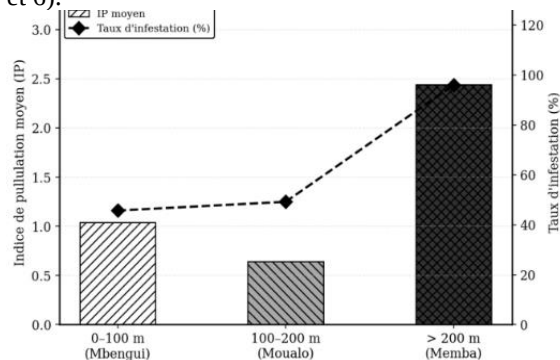


Figure 5. Relation entre la tranche altitudinale et l'intensité d'infestation (r de Pearson = 0,415 ; $p < 0,001$)

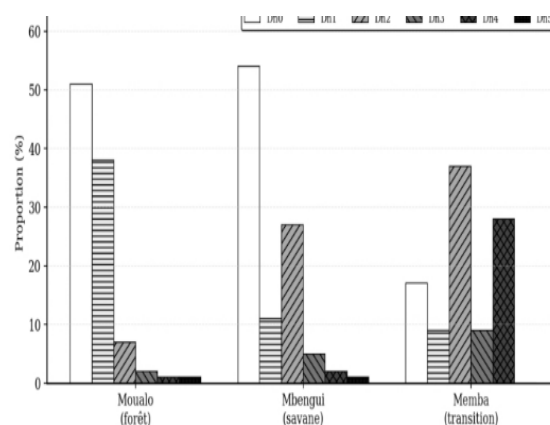


Figure 6. Distribution des niveaux de destruction des cerises (Dn0 à Dn5) par site et par écosystème. Dn0 = aucun dégât ; Dn1 = entrée de scolyte ; Dn2 = présence d'adultes ; Dn3 = ponte ; Dn4 = présence de larves ; Dn5 = destruction totale du grain

4. DISCUSSION

4.1. Une distribution agrégée structurée par le gradient écosystémique

L'analyse de l'ACP confirme que le type d'écosystème constitue le premier facteur structurant de la distribution d'*H. hampei* dans le bassin de la Ngounié (CP1 = 59,3 % de variance). La zone de transition forêt-savane (Memba, 190-220 m, agro-forêt complexe) présente les niveaux d'infestation les plus critiques (96,0 % ; IP = 2,44), en accord avec les travaux de Mugo *et al.* (2016) au Kenya, qui rapportent des infestations systématiquement plus élevées dans les systèmes agroforestiers d'altitude intermédiaire. La température optimale de développement d'*H. hampei* se situe entre 22 et 28 °C avec une humidité relative de 80-95 % (Vega *et al.*, 2009 ; Infante *et al.*, 2020).

Ces conditions sont précisément celles qui prévalent en zone de transition de la Ngounié, où la couverture forestière partielle maintient des microclimats stables propices à la reproduction du ravageur. Ce résultat corrobore les conclusions d'Avelino *et al.* (2011) et de Harbi *et al.* (2021) et de Rao *et al.* (2000), qui soulignent que les systèmes agroforestiers à forte densité d'ombrage créent des refuges thermiques et hydriques favorisant la survie et la pullulation d'*H. hampei* entre les saisons caféières. Navarro-Llopis *et al.* (2020) ont confirmé ce modèle pour les caféières méditerranéennes, où la complexité structurale de la végétation associée augmente significativement l'indice d'agrégation spatiale du ravageur.

La forêt dense de Moualo, malgré l'absence totale de traitement phytosanitaire, présente paradoxalement les taux d'infestation les plus faibles (IP = 0,64 ; 49,2 %). Ce résultat contre-intuitif s'explique par la monoculture sans ombrage caractéristique de ce site, qui génère des températures diurnes de canopée élevées (limitant l'humidité relative) et l'absence de cultures associées réduisant les ressources alimentaires et refuges inter-saisonniers du scolyte (Le Pelley, 1968 ; Baker et Cook, 1975). Willson *et al.* (2019) ont confirmé que les monocultures de caféiers à faible altitude, malgré leur vulnérabilité structurelle, peuvent naturellement limiter l'agrégation d'*H. hampei* par leurs conditions microclimatiques sub-optimales pour le ravageur.

À Mbenguï (savane de plaine, IP = 1,04), l'indice de Taylor élevé (2,359) reflète une hétérogénéité spatiale intra-site marquée, liée à la coexistence de trois blocs écologiques distincts (savane semi-inondée, savane sèche et forêt galerie). Des résultats similaires ont été rapportés par Deguine *et al.* (2017) dans des systèmes caféiers hétérogènes d'Afrique de l'Ouest, où la juxtaposition de micro-habitats contrastés génère des agrégations locales intenses sans infestation homogène de la plantation.

4.2. La saison comme facteur temporel indépendant (CP3)

La CP3, quasi exclusivement structurée par la variable saison, révèle que l'effet temporel est orthogonal aux gradients écosystémiques (CP1) et d'intensité de dégâts (CP2). Cette structure factorielle indique que le rythme saisonnier d'infestation opère de manière indépendante du contexte écologique local, une propriété déjà signalée par Jaramillo *et al.* (2009) dans leur modélisation thermique globale d'*H. hampei*. Le pic d'infestation en Petite Saison Sèche (73,5 %) est cohérent avec la phénologie du ravageur : la réduction de disponibilité en cerises mures concentre les populations résiduelles sur un stock limité, augmentant le taux d'infestation observé (Infante *et al.*, 2020 ; Navarro-Llopis *et al.*, 2020).

La forte amplitude saisonnière enregistrée à Moualo ($\Delta = 31,6$ points entre PSP et PSS), par opposition à la quasi-permanence de l'infestation à Memba (87,4-100 %), illustre la différence de buffering microclimatique entre les écosystèmes. L'agro-forêt complexe de Memba garantit une offre en cerises quasi continue et un microclimat stable, entretenant une pression parasitaire permanente, tandis que le régime de monoculture de Moualo expose directement les populations du scolyte aux fluctuations saisonnières de ressources. Ce résultat est en accord avec les travaux récents de Castillo Vera *et al.* (2022) sur la dynamique saisonnière d'*H. hampei* en forêts caféières d'Amérique centrale.

4.3. Les implications pour la surveillance et la gestion intégrée

La distribution agrégée d'*H. hampei* (ID > 1 pour les trois sites) implique que des plans d'échantillonnage séquentiels sont plus efficaces que des plans aléatoires simples pour la surveillance épidémiologique dans le bassin de la Ngounié (Taylor, 1961 ; Elliott, 1977 ; Southwood et Henderson, 2000). La structuration factorielle de l'ACP en trois axes indépendants fournit un cadre conceptuel pour la conception de stratégies de lutte différenciées : (i) interventions structurelles sur l'écosystème (gestion de l'ombrage, renouvellement des vieilles plantations) pilotées par CP1 ; (ii) gestion de l'intensité des dégâts intra-site (récolte sanitaire et traitement localisé) guidée par CP2 ; (iii) calendrier saisonnier d'intervention calé sur la PSS, pic temporel identifié par CP3.

La zone de transition (Memba) requiert une approche multi-technique prioritaire, combinant la lutte biologique par *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. (Tamega), des parasitoïdes spécialisés comme *Cephalonomia stephanoderis* Betrem (Hymenoptera : Bethyridae) (Bird, 1987 ; Rutherford et Phiri, 2006) et la récolte sanitaire intensive. La biolutte par *B. bassiana* a montré des taux de mortalité d'*H. hampei* allant jusqu'à 80 % dans des conditions de terrain en Afrique de l'Est (Harbi *et al.*, 2021 ; Infante *et al.*, 2020 ; Vega *et al.*, 2003), confirmant sa pertinence pour les écosystèmes de transition à forte pression d'infestation. Enfin, les extraits de *Tabernanthe iboga* Baill., dont les propriétés insecticides contre *H. hampei* ont été démontrées au Gabon (Nguema, 2015), constituent une alternative phytobiocide prometteuse à intégrer dans les programmes de lutte intégrée locaux. Cette orientation vers des méthodes biologiques et botaniques s'inscrit dans une démarche de réduction de la dépendance aux pesticides de synthèse, dont l'impact environnemental sur les agrosystèmes caféiers d'Afrique de l'Ouest a déjà été documenté (Mawussi, 2008).

5. CONCLUSION

Cette étude établit le profil spatio-temporel d'infestation d'*Hypothenemus hampei* dans le bassin caféier de la Ngounié par analyse en composantes principales. Trois axes factoriels expliquent 88,1 % de la variance : l'axe écosystémique (CP1 = 59,3 %), l'axe d'intensité de dégâts (CP2 = 16,2 %) et l'axe saisonnier (CP3 = 12,6 %). La distribution est de type agrégé dans les trois écosystèmes (indice de Taylor > 1 pour tous les sites). La zone de transition forêt-savane (Memba, 190-220 m) constitue le foyer épidémique principal avec 96 % de cerises scolytées et des destructions sévères (Dn moyen = 3,28), résultant

de l'interaction entre l'altitude, l'ancienneté des plantations et la complexité de l'agro forêt. La Petite Saison Sèche représente la fenêtre d'infestation maximale (73,5 %) et la période prioritaire d'intervention phytosanitaire. Ces résultats permettent de mettre en place une stratégie de lutte intégrée différenciée par écosystème dans le bassin de la Ngounié et ouvrent des perspectives de recherche sur les bio-insecticides locaux et la modélisation prédictive de la distribution du scolyte en Afrique centrale.

Remerciements

Les auteurs remercient la CAISTAB pour son appui logistique, l'Institut de Recherche Agronomique et Forestière (IRAF) pour son soutien scientifique, ainsi que l'Université de Yaoundé I pour l'encadrement académique et institutionnel.

Références

Avelino J., Ten Hoopen G. M. & Declerck F., 2011. Ecological mechanisms for pest and disease control in coffee and cacao agroecosystems of the Neotropics. In: *Rapidel B., DeClerck F., Le Coq J.-F. and Beer J. (Eds.). Ecosystem services from agriculture and agroforestry: measurement and payment. Earthscan, Londres: pp. 91–91–117.*

Baker K. F. & Cook R. J., 1975. *Biological control of plant pathogens*. W. H. Freeman and Company, San Francisco, 433 p.

Bird G. W., 1987. Role of nematology in integrated pest management programs. In: *Veech J. A. and Dickson D. W. (Eds.). Vistas on Nematology. E-O. Painter Printing, Florida: pp. 114–121.*

Brun L. A., Mur C., Caplong P. & Decazy B., 1993. Étude de l'action de l'endosulfan sur la dynamique des populations de l'entomofaune parasitaire du scolyte des fruits de caféier, *Hypothenemus hampei* (Ferr.) (Coleoptera: Scolytidae). *Café, Cacao, Thé*, 37 (3), 215–226.

Castillo Vera A., López-Núñez J. C. & Infante F., 2022. Seasonal dynamics of the coffee berry borer in shade-grown coffee agroforests of Central America. *Pest Manag. Sci.*, 78 (4), 1523–1534.

Cattell R. B., 1966. The Scree test for the number of factors. *Multivariate Behav. Res.*, 1(2), 245–276.

Deguine J.-P., Gloanec C., Laurent P., Ratnadass A. & Aubertot J.-N., 2017. Agroecology for crop protection: an approach for sustainable agriculture. *J. Crop Improv.*, 31 (4), 591–619.

Elliott J. M., 1977. *Some methods for the statistical analysis of samples of benthic invertebrates*. Freshwater Biological Association, Ambleside, Scientific Publication, n° 25, 156 p.

Harbi A., Grávalos C., Cotes B., Molina-Varea P. & Plata-Navia M. I., 2021. Efficacy of *Beauveria bassiana* against *Hypothenemus hampei* under field conditions in East Africa. *Biol. Control*, 162, 104744.

Husson F., Lê S. & Pagès J., 2017. *Exploratory multivariate analysis by example using R*. 2nd ed. CRC Press/Chapman & Hall, Boca Raton, 340 p.

Infante F., Pérez J. & Vega F. E., 2020. Control of the coffee berry borer: strategies, challenges and prospects. *Insects*, 11 (9), 566.

Jaramillo J., Borgemeister C. & Baker P. S., 2021. Coffee berry borer *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae): searching for sustainable control strategies. *B. Entomol. Res.*, 111(1), 1–21.

Jaramillo J., Chabi-Olaye A., Kamonjo C. et al., 2009. Thermal tolerance of the coffee berry borer *Hypothenemus hampei*: predictions of climate change impact on a tropical insect pest. *Plos One*, 4(8), e6487.

Jaramillo J., Vega F. E., Bustillo A. E. & Chabi-Olaye A., 2006. Contrôle biologique du scolyte des baies de café. *Plantations, recherche, développement*, 2006 : 32–37.

Kassambara A., 2017. *Practical guide to principal component methods in R: PCA, M(CA), FAMD, MFA, HCPC, factoextra*. Statistical Tools for High-Throughput Data Analysis (STHDA), CreateSpace, 170 p.

Le Pelley R. H., 1968. *Pests of coffee*. Longmans, Londres, 590 p.

Lebart L., Morineau A. & Piron M., 1995. *Statistique exploratoire multidimensionnelle*. Dunod, Paris, 440 p.

Mawussi G., 2008. *Bilan environnemental de l'utilisation de pesticides organochlorés dans les cultures de coton, café et cacao au Togo*. Thèse de Doctorat d'État, Université de Toulouse III Paul Sabatier, Toulouse (France), 207 p.

Mugo H. M., Ogola J. B. O. & Gichimu B. M., 2016. Distribution and population dynamics of coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) in different coffee farming systems in Kenya. *J. Agric. Sci.*, 8(11), 45–57.

Navarro-Llopis V., Vacas S., Primo J. & Alfaro C., 2020. Aggregated distribution pattern of the coffee berry borer and its implications for integrated pest management. *Crop Prot.*, 132, 105120.

Nguema P., 2015. *Effet des extraits de Jatropha curcas L. et de Tabernanthe iboga Baill. dans la lutte contre le scolyte du caféier (Hypothenemus hampei Ferrari) au Sud-Est du Gabon*. Thèse de Doctorat, Université des Sciences et Techniques de Masuku, Franceville (Gabon), 187 p.

Rao M. R., Singh M. P. & Day R., 2000. Insect pest problems in tropical agroforestry systems: contributory factors and strategies for management. *Agroforestry Systems*, 50 (3): 243–277.

Rutherford M. A. & Phiri N., 2006. *Pests and diseases of coffee in Eastern Africa*. A Technical and Advisory Manual. CABI Bioscience, Egham, UK, 66 p.

Shapiro S. S. & Wilk M. B., 1965. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, 52(3-4), 591–611.

Southwood T. R. E. & Henderson P. A., 2000. *Ecological methods*. 3rd ed. Blackwell Science, Oxford, 575 p.

Taylor L. R., 1961. Aggregation, variance and the mean. *Nature*, 189, 732–735.

Vega F. E., Infante F., Castillo A. & Jaramillo J., 2009. The coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae): a short review, with recent findings and future research directions. *Terrestrial Arthropod Reviews*, 2, 129–147.

Vega F. E., Mercadier G., Dégou M., Cilas C. & Maniania N. K., 2003. Evaluating entomopathogenic fungi for the control of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei*. *Annual Review of Entomology*, 48, 505–526.

Wegbe K., 2001. Le scolyte des fruits du caféier *Hypothenemus hampei* (Ferr.) au Togo : état actuel et perspectives. *Proceedings, 19th International Scientific Colloquium on Coffee (ASIC), Trieste (Italie)*, pp. 542–546.

Willson H. R., Easley J. B. & Young C. E., 2019. Population dynamics of the coffee berry borer in monoculture versus agroforestry systems. *Crop Prot.*, 119, 7–15.

Wintgens J. N., 2009. *Coffee: Growing, processing, sustainable production*. 2nd ed. Wiley-VCH, Weinheim (Germany), 977 p.