

Deuxième article : Conservation agriculture systems reduce Fall Armyworm pressure in maize crop in Bénin

Par : M. Ahouansou-karl, C. S. Atidegla, J. Avakoudjo, M. Elégbédé, R. Ati, S. Boulakia, A. Sinzogan, D. A. Souna, D. R. Togbé, C. Aniwanou, D. Agonkpahoun and E. Zannou

Pages (pp.) 17-38.

Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB) – Juin 2026 – Volume 36 - Numéro 03

Le BRAB est en ligne (on line) sur le site web <https://brab.bj/> de l'Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB)

ISSN imprimé (print ISSN) : 1025-2355 et ISSN électronique (on line ISSN) : 1840-7099 - Dépôt légal n° 18725 du 24 juin 2026, 2^{ème} trimestre, Bibliothèque Nationale (BN) du Bénin

*DOI : <https://doi.org/10.62344/bz8qpm57>



Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB)

Direction Scientifique (DS) - Service Animation Scientifique (SAS)

01 BP 884 Recette Principale, Cotonou 01 - République du Bénin

Tél. : (+229) 21 30 02 64 ; E-mail : contact@inrab.bj

La rédaction et la publication du bulletin de la recherche agronomique du Bénin (BRAB) de l'Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB)

01 B.P. 884 Recette Principale, Cotonou 01 - Tél. : (+229) 21 30 02 64

E-mail: contact@inrab.bj - République du Bénin

Sommaire

	Sommaire	i
N°	Informations générales	ii
	Indications aux auteurs	iii
1	Perception locale des indicateurs de restauration écologiques des carrières post-exploitation au Nord-Bénin : Implications pour une restauration inclusive N. Tohinde Togbédj, É. S. P. Assédé, O. R. Balagueman, J. F. M. F. Tonouéwa, M. B. Agassounon, S. M. D. Kinnoumè et S. S. H. Biaou *DOI : https://doi.org/10.62344/ec62xr20	01
2	Conservation agriculture systems reduce Fall Armyworm pressure in maize crop in Bénin M. Ahouansou-karl, C. S. Atidegla, J. Avakoudjo, M. Elégbédé, R. Ati, S. Boulakia, A. Sinzogan, D. A. Souna, D. R. Togbé, C. Aniwanou, D. Agonkpahoun and E. Zannou *DOI : https://doi.org/10.62344/bz8qpm57	17
3	A systematic literature review on how food and nutrition research in Bénin and how these research integrate equity lens R. A. O. Bouraima, N. Fanou Fogny, J. Harris and A. E. Assogbadjo *DOI : https://doi.org/10.62344/d0kjt640	39
4	Influence des facteurs climatiques et anthropiques sur la distribution des chimpanzés (<i>Pan troglodytes verus</i>) dans la Région de Labé en Guinée A. Konate, L. Duonamou, P. B. Diallo et D. Adandedjan *DOI : https://doi.org/10.62344/5z3gqe31	54
5	Dominance des vecteurs mécaniques et comparaison de trois pièges entomologiques pour la surveillance de la trypanosomose africaine au Sud-Bénin Z. K. Affolabi, R. A. Ossè, M. J. Ahouandjinou, P. A. Agboho, K. D. Koumodji, S. Z. Hougbe, F. Tokponnon et M. Akogbeto *DOI : https://doi.org/10.62344/k4m8v727	68
6	Growth performance and carcass characteristics of rabbits fed diets containing <i>Pachyrhizus erosus</i> in Bénin G. S. T. Atchadé, B. A. Aboh, M. F. Houndonougbo et G. A. Mensah *DOI : https://doi.org/10.62344/1ahcfw90	81

7	Survie et croissance des anacardiens greffés en plantations paysannes au Bénin K. N'Djolossè, A. A. G. Atchadé, R. S. Lokossou, A. M. Houessè, F. C. Ahononga, N. E. Hougbo, F. E. Djossou, P. Ahinouhossou et Houinato Mathieu *DOI : https://doi.org/10.62344/v4544784	91
8	Préférences des consommateurs urbains pour les légumes feuilles traditionnels <i>Launaea taraxacifolia</i> , <i>Ocimum gratissimum</i> et <i>Solanum macrocarpon</i> dans la ville de Cotonou au Sud-Bénin É. Sodjinou, Y. E. Tchigo et F. Assogba Komlan *DOI : https://doi.org/10.62344/jvfdg283	103
9	Impacts économiques des pratiques d'agriculture de conservation sur les petites exploitations agricoles d'Afrique Subsaharienne : Revue bibliométrique et systématique N. Ollabodé, I. F. Akpo, J. Egah, G. P. Tovihoudji et A. J. Yabi *DOI : https://doi.org/10.62344/wypwjt04	116
10	Vers une pisciculture plus durable et résiliente au Bénin : contexte, enjeux et solutions de remédiations Z. Sidi Orou Massara, I. Imorou Toko, L. Gangbe, A. B. Houndji, C. François et G. A. Mensah *DOI : https://doi.org/10.62344/3grbx244	137
11	Study of the impact of the projects APDRA-PPGF and PISCOFFAM on fish farming activities in the Region of N'Zérékoré, Republic of Guinea I. Bangoura, S. F. Bangoura, A. M. M. Komara et S. M. A. Conde *DOI : https://doi.org/10.62344/p7kt7r54	160

Informations générales : À propos de cette revue

But et champs de publication : Le Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB) édité par l'Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB) est un organe de publication créé en mai 1991 pour offrir aux chercheurs béninois et étrangers un cadre pour la diffusion des résultats de leurs travaux de recherche. Il accepte des articles originaux de recherche et de synthèse, des contributions scientifiques, des articles de revue, des notes et fiches techniques, des études de cas, des résumés de thèse, des analyses bibliographiques, des revues de livres et des rapports de conférence relatifs à tous les domaines de l'agronomie et des sciences apparentées, ainsi qu'à toutes les disciplines du développement rural. **Comités d'administration du BRAB** : La publication du Bulletin est assurée par un comité de rédaction et de publication appuyés par un conseil scientifique qui réceptionne les articles soumis en ligne sur la plateforme <https://brab.bj/> et décide de l'opportunité de leur parution. Ce comité de rédaction et de publication est appuyé par des comités de lecture qui sont chargés d'apprécier le contenu technique des articles et de faire des suggestions aux auteurs afin d'assurer un niveau scientifique adéquat aux articles. La composition du comité de lecture dépend du sujet abordé par l'article proposé. Rédigés en français ou en anglais, les articles doivent être assez informatifs avec un résumé présenté dans les deux langues, dans un style clair et concis. Une note d'indications aux auteurs est disponible dans chaque numéro et peut être consultée et téléchargée sur la plateforme du BRAB. **Fréquence de parution des numéros de chaque volume** : Le BRAB publie par an quatre (04) numéros à raison d'un numéro par trimestre et aussi des numéros spéciaux. Le thesaurus « Agrovoc » est utilisé pour caractériser les articles parus dans le BRAB. **Frais de publication** : Pour les auteurs, une contribution de cinquante mille (50.000) Francs CFA, tout frais compris, est demandée par article soumis et accepté pour publication. L'article publié est disponible en accès libre sur la plateforme avec notification à l'auteur correspondant. **Politique d'accès** : Les articles publiés par le Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin sont en libre accès. Ils sont gratuits pour tout le monde, immédiatement téléchargeables dès la publication et distribués sous la licence CC BY-NC-ND (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>). **Propriété intellectuelle** : La propriété des droits d'auteurs sur le contenu des articles demeure à leurs auteurs. Ils sont libres de partager -copier et redistribuer le matériel sur n'importe quel support ou format.

Comité de Rédaction et de Publication du Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin - 01 BP 884 Recette
Principale - Cotonou 01 – Tél. : (+229) 21 30 02 64 - E-mail: contact@inrab.bj – République du Bénin

Éditeur : Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB)

Comité de Rédaction et de Publication : -i- Directeur de rédaction et de publication : Directeur Général de l'INRAB ; -ii- Rédacteur en chef : Directeur Scientifique de l'INRAB ; -iii- Secrétaire documentaliste : Documentaliste archiviste de l'INRAB ; -iv- Maquettiste : Analyste programmeur de l'INRAB ; -v- Opérateur de mise en ligne : Dr Ir Setchémè Charles Bertrand POMALEGNI, Maître de recherche ; -vi- Membres : Dr Ir Guy A. MENSAH, Directeur de Recherche, Dr Ir Nestor René AHOYO ADJOVI, Directeur de Recherche, Dr Ir Angelo C. DJIHINTO, Directeur de Recherche et Dr Ir Rachidatou SIKIROU, Directrice de Recherche.

Conseil Scientifique : Membres du Conseil Scientifique de l'INRAB, Pr Dr Ir Brice A. SINSIN (Écologie, Foresterie, Faune, PFNL, Bénin), Pr Dr Michel BOKO (Géographie, Climatologie, Environnement, Bénin), Pr Dr Ir Joseph D. HOUNHOUIGAN (Sciences et biotechnologies alimentaires, Bénin), Pr Dr Ir Abdourahamane BALLA (Sciences et biotechnologies alimentaires, Niger), Pr Dr Ir Koffi Daniel KOBIA (Biologie végétale appliquée et arômes naturelles, Togo), Pr Dr Ir Kakai Romain GLELE (Biométrie et Statistiques, Bénin), Pr Dr Ir Agathe FANTODJI (Biologie de la reproduction, Elevage des espèces gibier et non gibier, Côte d'Ivoire), Pr Dr Ir Jean T. C. CODJIA (Zootechnie, Zoologie, Faune, Bénin), Pr Dr Ir Mauricette OUALI N'GORAN (Entomologie, Côte d'Ivoire), Pr Dr Ir Euloge K. AGBOSSOU (Hydrologie, Bénin), Pr Dr Sylvie M. HOUNZANGBE-ADOTE (Parasitologie, Physiologie, Bénin), Pr Dr Ir Jean C. GANGLO (Agro-Foresterie), Dr Ir Guy A. MENSAH (Zootechnie, Faune, Elevage des espèces gibier et non gibier, Bénin), Pr Dr Moussa BARAGÉ (Biotechnologies végétales, Niger), Pr Dr Jeanne ZOUNDJIHEKPON (Génétique, Bénin), Pr Dr Ir Gauthier BIAOU (Économie, Bénin), Pr Dr Ir Roch MONGBO (Sociologie, Anthropologie, Bénin), Dr Ir Gualbert GBEHOUNOU (Malherbologie, Protection des végétaux, Bénin), Dr Ir Gustave Dieudonné DAGBENONBAKIN (Sciences du sol, Bénin), Dr DMV. Delphin O. KOUDANDE (Génétique, Sélection et Santé Animale, Bénin), Dr Ir Aimé H. BOKONON-GANTA (Agronomie, Entomologie, Bénin), Pr Dr Ir Rigobert C. TOSSOU (Sociologie, Bénin), Dr Ir Anne FLOQUET (Économie, Bénin), Dr Ir André KATARY (Entomologie, Bénin), Dr Ir Hessou Anastase AZONTONDE (Sciences du sol, Bénin), Dr Ir Paul HOUSSOU (Technologies agro-alimentaires, Bénin), Dr Ir Adolphe ADJANOHOON (Agro-foresterie, Bénin), Dr Ir Françoise ASSOGBA-KOMLAN (Maraîchage, Sciences du sol, Bénin), Pr Dr Ir André B. BOYA (Pastoralisme, Agrostologie, Association Agriculture-Elevage), Dr Ousmane COULIBALY (Agro-économie, Mali), Pr Dr Ir Luc O. SINTONDJI (Hydrologie, Génie Rural, Bénin), Dr Ir Vincent J. MAMA (Foresterie, SIG, Bénin), Dr Clément C. GNIMADI (Géographie).

Comité de lecture : Les évaluateurs (referees) sont des scientifiques choisis selon leurs domaines et spécialités.

Indications aux auteurs

Types de contributions et aspects généraux

Le Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB) accepte des articles scientifiques, des articles de synthèse, des résumés de thèse de doctorat, des analyses bibliographiques, des notes et des fiches techniques, des revues de livres, des actes de conférences, d'ateliers et de séminaires, des articles originaux de recherche et de synthèse, puis des études de cas sur des aspects agronomiques et des sciences apparentées produits par des scientifiques béninois ou étrangers. La responsabilité du contenu des articles incombe entièrement à l'auteur et aux co-auteurs. Le BRAB publie par an -i- quatre (04) numéros à raison d'un numéro par trimestre, et -ii- aussi des numéros spéciaux mis en ligne sur le site web : <https://brab.bj/>. Pour les auteurs, une contribution de cinquante mille (50.000) Francs CFA, tout frais compris, est demandée par article soumis et accepté pour publication. L'article publié est disponible en accès libre sur la plateforme avec notification à l'auteur correspondant.

Soumission de manuscrits

Les manuscrits doivent être soumis en ligne sur la plateforme <https://brab.bj/> accompagnés d'une lettre de soumission au comité de rédaction et de publication du BRAB. Dans la lettre de soumission les auteurs doivent proposer l'auteur de correspondance ainsi que les noms et adresses (y compris les e-mails) de trois (03) experts de leur discipline ou domaine scientifique pour l'évaluation du manuscrit. Certes, le choix des évaluateurs revient au comité éditorial du Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin. Les manuscrits doivent être écrits en français ou en anglais, tapé/saisi sous Winword ou Word ou Word docx avec la police Arial taille 10 en interligne simple sur du papier A4 (21,0 cm x 29,7 cm). L'auteur doit fournir des fichiers électroniques des illustrations (tableaux, figures et photos) en dehors du texte. Les figures doivent être réalisées avec un logiciel pour les graphiques. Les données ayant servi à élaborer les figures seront également fournies. Les photos doivent être suffisamment contrastées. Les articles sont soumis par le comité de rédaction à des évaluateurs, spécialistes du domaine. L'auteur reçoit automatiquement un accusé de réception.

Processus d'évaluation

Dès la réception du manuscrit, le secrétariat scientifique de la revue vérifie la conformité aux indications aux auteurs puis envoie un courriel à l'auteur correspondant où il lui est mentionné la suite réservée à son manuscrit. Ensuite, est déclenché le processus de l'évaluation aveugle par l'envoi aux trois (03) évaluateurs retenus par le secrétariat scientifique. Au cours de la troisième semaine, l'auteur reçoit la décision de rejet ou d'acceptation de son manuscrit sous réserve de la prise en compte des observations faites par les évaluateurs. Les auteurs ont deux (02) semaines pour retourner la nouvelle version de leur manuscrit accompagnées d'une deuxième lettre de soumission comportant un tableau synoptique dans lequel ils justifient la prise en compte ou non des observations critiques constructives des évaluateurs dudit manuscrit. Toutefois, les manuscrits ayant reçu des observations majeures sont retournés aux évaluateurs pour la vérification des observations apportées. Au bout de deux (02) semaines, ils reçoivent le proof de leur article pour une relecture en 72 heures et procède au règlement des frais de publication avant la parution de l'article sur la plateforme.

Sanction du plagiat et de l'autoplégat dans tout article soumis au BRAB pour publication

De nombreuses définitions sont données au plagiat selon les diverses sources de documentations telles que « -i- Acte de faire passer pour siens les textes ou les idées d'autrui. -ii- Consiste à copier les autres en reprenant les idées ou les résultats d'un autre chercheur sans le citer et à les publier en son nom propre. -iii- Copie frauduleuse d'une œuvre existante en partie ou dans sa totalité afin de se l'approprier sans accord préalable de l'auteur. -iv- Vol de la création originale. -v- Violation de la propriété intellectuelle d'autrui. » (<https://integrite.umontreal.ca/reglements/definitions-generales/>). Le Plagiat et l'Autoplégat sont à bannir dans les écrits scientifiques. Par conséquent, tout manuscrit soumis pour sa publication dans le BRAB doit être préalablement soumis à une analyse de plagiat, en s'appuyant sur quelques plateformes de détection de plagiat. Le **plagiat constaté dans tout article sera sanctionné par un retour du manuscrit accompagné du rapport de vérification du plagiat par un logiciel antiplégat à l'auteur de correspondance pour sa correction avec un taux de tolérance de plagiat ou de similitude inférieur ou égal à sept pour cent (07%).**

Respect de certaines normes d'édition et règles de présentation et d'écriture

Pour qu'un manuscrit soit accepté par le comité de rédaction, il doit respecter certaines normes d'édition et règles de présentation et d'écriture. Ne pas oublier que les trois (3) **qualités fondamentales d'un article scientifique** sont la **précision** (supprimer les adjectifs et adverbes creux), la **clarté** (phrases courtes, mots simples, répétition des mots à éviter, phrases actives, ordre logique) et la **brièveté** (supprimer les expressions creuses). **Le temps des verbes doit être respecté**. En effet, tout ce qui est expérimental et non vérifié est rédigé au passé (passé composé et imparfait) de l'indicatif, notamment les parties *Méthodologie (Matériels et méthodes)* et *Résultats*. Tandis que tout ce qui est admis donc vérifié est rédigé au présent de l'indicatif, notamment les parties *Introduction*, avec la citation de résultats vérifiés, *Discussion* et *Conclusion*. Toutefois, en cas de doute, rédigez au passé. Pour en savoir plus sur la méthodologie de rédaction d'un article, prière consulter le document suivant : **Assogbadjo A. E., Aïhou K., Youssao A. K. I., Fovet-Rabot C., Mensah G. A., 2011. L'écriture scientifique au Bénin. Guide contextualisé de formation. Cotonou, INRAB, 60 p. ISBN : 978-99919-857-9-4 – INRAB 2011. Dépôt légal n° 5372 du 26 septembre 2011, 3^{ème} trimestre 2011. Bibliothèque Nationale (BN) du Bénin.**

Titre

Dans le titre se retrouve l'information principale de l'article et l'objet principal de la recherche. Le titre doit contenir 6 à 10 mots (22 mots au maximum) en position forte, décrivant le contenu de l'article, assez informatifs, descriptifs, précis et concis. Un bon titre doit donner le meilleur aperçu possible de l'article en un minimum de mots. Il comporte les mots de l'index *Medicus*. Le titre est un message-réponse aux 5 W [what (quoi ?), who (qui ?), why (pourquoi ?), when (quand ?), where (où ?)] & 1 H [how (comment ?)]. Il est recommandé d'utiliser des sous-titres courts et expressifs pour subdiviser les sections longues du texte mais écrits en minuscules, sauf la première lettre et non soulignés. Toutefois, il faut éviter de multiplier les sous-titres. Le titre doit être traduit dans la seconde langue donc écrit dans les deux langues français et anglais.

Auteur et Co-auteurs

Les initiales des prénoms en majuscules séparées par des points et le nom avec 1^{ère} lettre écrite en majuscule de tous les auteurs (auteur & co-auteurs), sont écrits sous le titre de l'article. Immédiatement, suivent les titres académiques (Pr., Dr, MSc., MPhil. et/ou Ir.), les prénoms écrits en minuscules et le nom écrit en majuscule, puis les adresses complètes (structure, BP, e-mail, Tél. et pays) de tous les auteurs. Il ne faut retenir que les noms des membres de l'équipe ayant effectivement participé au programme de recherche et à la rédaction de l'article.

Résumé

Un bref résumé dans la langue de l'article est précédé d'un résumé détaillé dans la seconde langue (français ou anglais selon le cas) et le titre sera traduit dans cette seconde langue. Le résumé est une compression en volume plus réduit de l'ensemble des idées développées dans un document, etc. Il contient l'essentiel en un seul paragraphe de 200 à 350 mots. Le résumé contient une **Introduction** (contexte, Objectif, etc.) rédigée avec 20% des mots, la **Méthodologie** (type d'étude, échantillonnage, variables et outils statistiques) rédigée avec 20% des mots, les **Résultats obtenus et leur courte discussion** (résultats importants et nouveaux pour la science), rédigée avec 50% des mots et une **Conclusion** (implications de l'étude en termes de généralisation et de perspectives de recherches) rédigée avec 10% des mots.

Mots-clés

Les 3 à 5 mots et/ou groupes de mots clés les plus descriptifs de l'article suivent chaque résumé et comportent le pays (la région), la problématique ou l'espèce étudiée, la discipline ou le domaine spécifique, la méthodologie, les résultats et les perspectives de recherche. Il est conseillé de choisir d'autres mots/groupes de mots autres que ceux contenus dans le titre.

Texte

Le texte doit être rédigé dans un langage simple et compréhensible. L'article est structuré selon la discipline scientifique et la thématique en utilisant l'un des plans suivants avec les Remerciements (si nécessaire) et Références bibliographiques : *IMReD* (Introduction, Matériel et Méthodes, Résultats, Discussion/Résultats et Discussion, Conclusion) ; *ILPIA* (Introduction, Littérature, Problème, Implication, Avenir) ; *OPERA* (Observation, Problème, Expérimentation, Résultats, Action) ; *SOSRA* (Situation, Observation, Sentiments, opinion, Réflexion, Action) ; *ESPRIT/SPRIT* [Entrée en matière

(introduction), Situation du problème, Problème précis, Résolution, Information appliquée ou détaillée, Terminaison (conclusion)] ; *APPROACH* (Annonce, Problématique (permutable avec Présentation), Présentation, Réactions, Opinions, Actions, Conclusions, Horizons) ; etc.

Introduction

L'introduction c'est pour persuader le lecteur de l'importance du thème et de la justification des objectifs de recherche. Elle motive et justifie la recherche en apportant le background nécessaire, en expliquant la rationalité de l'étude et en exposant clairement l'objectif et les approches. Elle fait le point des recherches antérieures sur le sujet avec des citations et références pertinentes. Elle pose clairement la problématique avec des citations scientifiques les plus récentes et les plus pertinentes, l'hypothèse de travail, l'approche générale suivie, le principe méthodologique choisi. L'introduction annonce le(s) objectif(s) du travail ou les principaux résultats. Elle doit avoir la forme d'un entonnoir (du général au spécifique).

Matériels et méthodes

Il faut présenter si possible selon la discipline le **milieu d'étude** ou **cadre de l'étude** et indiquer le lien entre le milieu physique et le thème. **La méthodologie d'étude** permet de baliser la discussion sur les résultats en renseignant sur la validité des réponses apportées par l'étude aux questions formulées en introduction. Il faut énoncer les méthodes sans grands détails et faire un extrait des principales utilisées. L'importance est de décrire les protocoles expérimentaux et le matériel utilisé, et de préciser la taille de l'échantillon, le dispositif expérimental, les logiciels utilisés et les analyses statistiques effectuées. Il faut donner toutes les informations permettant d'évaluer, voire de répéter l'essai, les calculs et les observations. Pour le matériel, seront indiquées toutes les caractéristiques scientifiques comme le genre, l'espèce, la variété, la classe des sols, etc., ainsi que la provenance, les quantités, le mode de préparation, etc. Pour les méthodes, on indiquera le nom des dispositifs expérimentaux et des analyses statistiques si elles sont bien connues. Les techniques peu répandues ou nouvelles doivent être décrites ou bien on en précisera les références bibliographiques. Toute modification par rapport aux protocoles courants sera naturellement indiquée.

Résultats

Le texte, les tableaux et les figures doivent être complémentaires et non répétitifs. Les tableaux présenteront un ensemble de valeurs numériques, les figures illustrent une tendance et le texte met en évidence les données les plus significatives, les valeurs optimales, moyennes ou négatives, les corrélations, etc. On fera mention, si nécessaire, des sources d'erreur. La règle fondamentale ou règle cardinale du témoignage scientifique suivie dans la présentation des résultats est de donner tous les faits se rapportant à la question de recherche concordant ou non avec le point de vue du scientifique et d'indiquer les relations imprévues pouvant faire de l'article un sujet plus original que l'hypothèse initiale. Il ne faut jamais entremêler des descriptions méthodologiques ou des interprétations avec les résultats. Il faut indiquer toujours le niveau de signification statistique de tout résultat. Tous les aspects de l'interprétation doivent être présents. Pour l'interprétation des résultats il faut tirer les conclusions propres après l'analyse des résultats. Les résultats négatifs sont aussi intéressants en recherche que les résultats positifs. Il faut confirmer ou infirmer ici les hypothèses de recherches.

Discussion

C'est l'établissement d'un pont entre l'interprétation des résultats et les travaux antérieurs. C'est la recherche de biais. C'est l'intégration des nouvelles connaissances tant théoriques que pratiques dans le domaine étudié et la différence de celles déjà existantes. Il faut éviter le piège de mettre trop en évidence les travaux antérieurs par rapport aux résultats propres. Les résultats obtenus doivent être interprétés en fonction des éléments indiqués en introduction (hypothèses posées, résultats des recherches antérieures, objectifs). Il faut discuter ses propres résultats et les comparer à des résultats de la littérature scientifique. En d'autres termes c'est de faire les relations avec les travaux antérieurs. Il est nécessaire de dégager les implications théoriques et pratiques, puis d'identifier les besoins futurs de recherche. Au besoin, résultats et discussion peuvent aller de pair.

Résultats et Discussion

En optant pour **résultats et discussions** alors les deux vont de pair au fur et à mesure. Ainsi, il faut la discussion après la présentation et l'interprétation de chaque résultat. Tous les aspects de l'interprétation, du commentaire et de la discussion des résultats doivent être présents. Avec l'expérience, on y parvient assez aisément.

Conclusion

Il faut une bonne et concise conclusion étendant les implications de l'étude et/ou les suggestions. Une conclusion fait ressortir de manière précise et succincte les faits saillants et les principaux résultats de l'article sans citation bibliographique. La conclusion fait la synthèse de l'interprétation scientifique et de l'apport original dans le champ scientifique concerné. Elle fait l'état des limites et des faiblesses de l'étude (et non celles de l'instrumentation mentionnées dans la section de méthodologie). Elle suggère d'autres avenues et études permettant d'étendre les résultats ou d'avoir des applications intéressantes ou d'obtenir de meilleurs résultats.

Remerciements

Il s'agit de remercier ceux qui ont financé l'étude, collecté les données sur le terrain et facilité la bonne conduite des travaux de recherche ainsi que d'éventuels lecteurs critiques du manuscrit.

Conflits d'intérêt

Un des aspects cruciaux de l'éthique de la recherche qui nécessite la divulgation transparente des conflits d'intérêt, permet de maintenir l'intégrité de la recherche scientifique et assure la crédibilité des conclusions publiées. Par conséquent, il est plus qu'essentiel pour tout chercheur de divulguer honnêtement toute situation pouvant être perçue comme un conflit d'intérêt afin de préserver la rigueur scientifique et la confiance du public. Par exemple, il s'agit de mentionner si éventuellement le travail a des situations conflictuelles avec d'autres en cours et connues des auteurs.

Contribution des auteurs

Dans cette rubrique est renseignée la contribution substantielle de chaque auteur dans le processus d'élaboration de l'article. Il s'agit de la part de travail de chacun des auteurs depuis la conception du travail, la mobilisation des ressources, la collecte et l'analyse des données, la rédaction du manuscrit, etc.

Références bibliographiques

La norme Harvard et la norme Vancouver sont les deux normes internationales qui existent et régulièrement mises à jour. Il ne faut pas mélanger les normes de présentation des références bibliographiques. En ce qui concerne le Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB), c'est la norme Harvard qui a été choisie. Les auteurs sont responsables de l'orthographe des noms cités dans les références bibliographiques. Dans le texte, les publications doivent être citées de la manière suivante : Sinsin (2020) ou Sinsin et Assogbadjo (2020) ou Sinsin *et al.* (2007). Sachez que « *et al.* » est mis pour *et alteri* qui signifie et autres. Il faut s'assurer que les références mentionnées dans le texte sont toutes reportées par ordre alphabétique dans la liste des références bibliographiques. Somme toute dans le BRAB, selon les ouvrages ou publications, les références sont présentées dans la liste des références bibliographiques de la manière suivante :

Pour les revues scientifiques :

- ✓ **Pour un seul auteur** : Yakubu, A., 2013: Characterisation of the local Muscovy duck in Nigeria and its potential for egg and meat production. *World's Poultry Science Journal*, 69(4): 931-938. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0043933913000937>
- ✓ **Pour deux auteurs** : Tomasz, K., Juliusz, M. K., 2004: Comparison of physical and qualitative traits of meat of two Polish conservative flocks of ducks. *Arch. Tierz., Dummerstorf*, 47(4): 367-375.
- ✓ **A partir de trois auteurs** : Vissoh, P. V., R. C. Tossou, H. Dedehouanou, H. Guibert, O. C. Codjia, S. D. Vodouhe, E. K. Agbossou, 2012 : Perceptions et stratégies d'adaptation aux changements climatiques : le cas des communes d'Adjohoun et de Dangbo au Sud-Est Bénin. *Les Cahiers d'Outre-Mer N° 260*, 479-492.

Pour les organismes et institutions :

- ✓ FAO, 2017. L'État de la sécurité alimentaire et de la nutrition dans le monde 2017 : Renforcer la résilience pour favoriser la paix et la sécurité alimentaire. Rome, FAO. 144 p.
- ✓ INSAE (Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique), 2015 : Quatrième Recensement Général de la Population et de l'Habitation (RGPH-4) : Résultats définitifs.

Direction des Etudes Démographiques, Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique, Cotonou, Bénin, 33 p.

Pour les contributions dans les livres :

- ✓ Whithon, B.A., Potts, M., 1982: Marine littoral: 515-542. *In*: Carr, N.G., Whithon, B.A., (eds), The biology of cyanobacteria. Oxford, Blackwell.
- ✓ Annerose, D., Cornaire, B., 1994 : Approche physiologique de l'adaptation à la sécheresse des espèces cultivées pour l'amélioration de la production en zones sèches: 137-150. *In* : Reyniers, F.N., Netoyo L. (eds.). Bilan hydrique agricole et sécheresse en Afrique tropicale. Ed. John Libbey Eurotext. Paris.

Pour les livres :

- ✓ Zryd, J.P., 1988: Cultures des cellules, tissus et organes végétaux. Fondements théoriques et utilisations pratiques. Presses Polytechniques Romandes, Lausanne, Suisse.
- ✓ Stuart, S.N., R.J. Adams, M.D. Jenkins, 1990: Biodiversity in sub-Saharan Africa and its islands. IUCN–The World Conservation Union, Gland, Switzerland.

Pour les communications :

- ✓ Vierada Silva, J.B., A.W. Naylor, P.J. Kramer, 1974: Some ultrastructural and enzymatic effects of water stress in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) leaves. Proceedings of Nat. Acad. Sc. USA, 3243-3247.
- ✓ Lamachere, J.M., 1991 : Aptitude du ruissellement et de l'infiltration d'un sol sableux fin après sarclage. Actes de l'Atelier sur Soil water balance in the Sudano-Sahelian Zone. Niamey, Niger, IAHS n° 199, 109-119.

Pour les abstracts :

- ✓ Takaiwa, F., Tnifuji, S., 1979: RNA synthesis in embryo axes of germination pea seeds. Plant Cell Physiology abstracts, 1980, 4533.

Thèse ou mémoire :

- ✓ Valero, M., 1987: Système de reproduction et fonctionnement des populations chez deux espèces de légumineuses du genre *Lathyrus*. PhD. Université des Sciences et Techniques, Lille, France, 310 p.

Pour les sites web : <http://www.iucnredlist.org>, consulté le 06/07/2007 à 18 h.

Equations et formules

Les équations sont centrées, sur une seule ligne si possible. Si on s'y réfère dans le texte, un numéro d'identification est placé, entre crochets, à la fin de la ligne. Les fractions seront présentées sous la forme « 7/25 » ou « (a+b)/c ».

Unités et conversion

Seules les unités de mesure, les symboles et équations usuels du système international (SI) comme expliqués au chapitre 23 du Mémento de l'Agronome, seront acceptés.

Abréviations

Les abréviations internationales sont acceptées (OMS, DDT, etc.). Le développé des sigles des organisations devra être complet à la première citation avec le sigle en majuscule et entre parenthèses (FAO, RFA, IITA). Eviter les sigles reconnus localement et inconnus de la communauté scientifique. Citer complètement les organismes locaux.

Nomenclature de pesticides, des noms d'espèces végétales et animales

Les noms commerciaux seront écrits en lettres capitales, mais la première fois, ils doivent être suivis par le(s) nom(s) communs(s) des matières actives, tel que acceptés par « International Organization for Standardization (ISO) ». En l'absence du nom ISO, le nom chimique complet devra être donné. Dans la page de la première mention, la société d'origine peut être indiquée par une note en bas de la page, p.e. PALUDRINE (Proguanil). Les noms d'espèces animales et végétales seront indiqués en latin (genre, espèce) en italique, complètement à la première occurrence, puis en abrégé (exemple :

Oryza sativa = *O. sativa*). Les auteurs des noms scientifiques seront cités seulement la première fois que l'on écrira ce nom scientifique dans le texte.

Tableaux, figures et illustrations

Chaque tableau (avec les colonnes et lignes rendues visibles donc quadrillées) ou figure doit avoir un titre. Les titres des tableaux seront écrits en haut de chaque tableau et ceux des figures/photographies seront écrits en bas des illustrations. Les légendes seront écrites directement sous les tableaux et autres illustrations. En ce qui concerne les illustrations (tableaux, figures et photos) seules les versions électroniques bien lisibles et claires, puis mises en extension jpeg avec haute résolution seront acceptées. Seules les illustrations dessinées à l'ordinateur et/ou scannées, puis les photographies en extension jpeg et de bonne qualité donc de haute résolution sont acceptées.

Les places des tableaux et figures dans le texte seront indiquées dans un cadre sur la marge. Les tableaux sont numérotés, appelés et commentés dans un ordre chronologique dans le texte. Ils présentent des données synthétiques. Les tableaux de données de base ne conviennent pas. Les figures doivent montrer à la lecture visuelle suffisamment d'informations compréhensibles sans recours au texte. Les figures sont en Excel, Havard, Lotus ou autre logiciel pour graphique sans grisés et sans relief. Il faudra fournir les données correspondant aux figures afin de pouvoir les reconstruire si c'est nécessaire.

Conservation agriculture systems reduce Fall Armyworm pressure in maize crops in Bénin

M. Ahouansou-karl^{1*}, C. S. Atidegla¹, J. Avakoudjo², M. Elégbédé³, R. Ati⁴, S. Boulakia⁵, A. Sinzogan⁶, D. A. Souna⁷, D. R. Togbé⁸, C. Aniwanou⁶, D. Agonkpahoun⁹ and E. Zannou⁶

¹Ir. Melchis AHOANSOU-KARL, Department of Environmental Planning and Management (DEPM), Faculty of Agronomic Sciences (FAS), University of Abomey-Calavi (UAC), PO Box 526 Cotonou01, E-mail: melchisahouansoukarl@gmail.com, Tel.: (+229)0198515728, Benin Republik

Pr. Dr. Séraphin Capo ATIDEGLA, DEPM/FAS/UAC, PO Box 526 Cotonou01, E-mail: atideglaser@gmail.com, Tel.: (+229)0197774628, Benin Republik

²Dr. Ir. Julien AVAKOUDJO, Laboratory of Applied Ecology (LAE/FAS/UAC), PO Box 526, Cotonou01, E-mail: julioavak@gmail.com, Tel.: (+229)0197603527, Benin Republik

³Dr. Maurille ELEGBEDE, Laboratory of Crop Protection (LCP/FA/UP), PO Box 123, Parakou, E-mail: melegbede1@gmail.com, Tel.: (+229)0195490488, Benin Republik

⁴Ir. Reine ATI, Société Nationale de Mécanisation Agricole, Direction de la Recherche et du Développement Agricole, Ouidah, Email: reine.ati@sonama.bj, Tel.: (+229)0152269718, Benin Republik

⁵Ir. Stéphane BOULAKIA, AIDA, University of Montpellier, CIRAD, UPR AIDA, Cotonou, E-mail: stephane.boulakia@cirad.fr, Tel.: (+229)01zzzzzzzz, France

⁶Dr. Ir. Antonio SINZOGAN, Laboratory for the Study and Management of Plant Pests (LSMPP/FAS/UAC), 03 BP 2819, Jéricho, Cotonou, E-mail: sinzogan2001@yahoo.fr, Tel.: (+229)0197085626, Benin Republik

Dr Crépin ANIWANOU, LSMPP/FAS/UAC, 03 BP 2819, Jéricho, Cotonou, E-mail: crpinaw@gmail.com, Tel.: (+229)0197620046, Benin Republik

Pr. Dr. Elisabeth ZANNOU, LSMPP/FAS/UAC, 03 BP 2819, Jéricho, Cotonou, E-mail: ezannou2@gmail.com, ezannou2@yahoo.fr, Tel.: (+229)0197428002, Benin Republik

⁷Dr. Aboubakar Djibril SOUNA, HortSys, CIRAD, Université de Montpellier, Montpellier, France & World Vegetable Center, West and Central Africa, Coastal and Humid Regions, IITA-Benin Campus, 08 BP 0932 Tripostal: Cotonou, E-mail: djibril.aboubakar_souna@cirad.fr, Tel.: (+229)0197774403, Benin Republik - <https://orcid.org/0000-0002-4867-2311>

⁸MSc. Delano Ronald TOGBÉ, International Institute of Tropical Agriculture, Benin Research Station (IITA-Benin), 08 BP 0932 Tri Postal, Cotonou, E-mail: delanodray@gmail.com, Tel.: (+229)0197569035, Benin Republik

⁹MSc. Dieudonné AGONKPAHOUN, Department of science and techniques of plant production, Faculty of Agronomy, University of Parakou, PO Box 123, Parakou, E-mail: agonkpahoundieudonnehonorat@gmail.com, Tel.: (+229)0194984199, Benin Republik

*Corresponding author: Ir. Melchis AHOANSOU-KARL, E-mail: melchisahouansoukarl@gmail.com

*DOI: <https://doi.org/10.62344/bz8qpm57>

Abstract

The Fall Armyworm (FAW), *Spodoptera frugiperda*, J.E. Smith (Lepidoptera: Noctuidae), is a major threat to maize production across Sub-Saharan Africa, yet practical, sustainable management strategies remain insufficiently documented. The study investigated whether conservation agriculture reduced FAW pressure compared to conventional agriculture, and how conservation agriculture modulated insecticide efficacy. A split-plot field experiment with four replications was conducted in Benin's cotton-growing zone over two growing seasons. Cropping system (two conventional systems and two conservation systems) was the main factor. Insecticide treatment (acetamiprid + emamectin benzoate) was the subplot factor. FAW infestation incidence, leaf damage severity and larval counts were monitored from 20 to 48 days after sowing and analyzed using generalized and cumulative link mixed models. Conservation agriculture systems consistently showed significantly ($p < 0.05$) lower infestation incidence, damage severity, and larval counts than conventional systems. Averaged across treatments, conventional systems had 2.4 - 2.9 times higher odds of infestation than conservation agriculture systems. Insecticide reduced pest pressure in all systems, but its effect was markedly stronger in conventional systems (approximately 4-fold reduction) than in conservation agriculture systems (2- to 3-fold reduction). Under untreated conditions, conservation systems achieved damage levels comparable to those of conventional systems with insecticide. These findings demonstrate that conservation agriculture provides intrinsic FAW suppression and can reduce reliance on chemical control. Integrating conservation agriculture into FAW management programs could slow insecticide resistance development while maintaining effective crop protection in smallholder maize systems across Sub-Saharan Africa.

Keywords: Cropping systems, *Spodoptera frugiperda*, Integrated pest management, Insecticide efficacy, Sub-Saharan Africa.

Les systèmes d'agriculture de conservation réduisent la pression de la chenille légionnaire d'automne en culture de maïs au Bénin

Résumé

La chenille légionnaire d'automne, *Spodoptera frugiperda* J.E. Smith (Lepidoptera : Noctuidae), constitue une menace majeure pour la production de maïs en Afrique subsaharienne, mais des stratégies de gestion pratique et durable restent insuffisamment documentées. L'étude a examiné si l'agriculture de conservation réduisait la pression de la chenille légionnaire par rapport à l'agriculture conventionnelle, et comment ces systèmes modulaient l'efficacité des insecticides. Un dispositif expérimental en split-plot avec quatre répétitions a été mené dans la zone cotonnière du Bénin sur deux saisons de culture. Le système de culture (deux systèmes conventionnels et deux systèmes de conservation) était le facteur principal. L'application de traitement insecticide (acétamipride + benzoate d'émamectine) était le facteur secondaire. L'incidence de l'infestation par la chenille légionnaire, la sévérité des dégâts foliaires et le nombre de larves ont été suivis de 20 à 48 jours après semis et analysés à l'aide de modèles linéaires généralisés mixtes (GLMM) et de modèles mixtes à lien cumulé (CLMM). Les systèmes d'agriculture de conservation ont systématiquement montré une incidence d'infestation, une sévérité des dégâts et des comptages larvaires significativement ($p < 0,05$) plus faibles que les systèmes conventionnels. En moyenne, sur l'ensemble des traitements, les systèmes de conservation présentaient un risque d'infestation 2,4 à 2,9 fois plus élevés que les systèmes de conservation. L'insecticide a réduit la pression du ravageur dans tous les systèmes, mais son effet était nettement plus fort dans les systèmes conventionnels (réduction d'environ 4 fois) que dans les systèmes de conservation (réduction de 2 à 3 fois). En l'absence de traitement, les systèmes de conservation ont atteint des niveaux de dégâts comparables à ceux des systèmes conventionnels avec insecticide. Ces résultats démontrent que l'agriculture de conservation assure une suppression intrinsèque de la chenille légionnaire et peut réduire la dépendance à la lutte chimique. Intégrer l'agriculture de conservation dans les programmes de gestion de la chenille légionnaire pourrait ralentir le développement de la résistance aux insecticides tout en maintenant une protection efficace des cultures dans les systèmes maïsicoles des petits exploitants d'Afrique subsaharienne.

Mots clés : Systèmes de culture, *Spodoptera frugiperda*, Gestion intégrée des ravageurs, Afrique Sub-Saharienne

1 Introduction

Agriculture is the primary source of food, feed, and fibers, playing a fundamental role in economic and social development (Abdalla and El-Ramady, 2022) and providing income for hundreds of millions of people facing poverty and food insecurity (Cong, 2021). From an agroecological perspective, agriculture transforms natural ecosystems to produce food and biomass-derived goods (Francis *et al.*, 2003; Wezel *et al.*, 2020). This transformation has led to a substantial simplification of biodiversity, as farmers promote one or a few cultivated species, creating simplified agroecosystems that have no stable equivalent in natural ecosystems (Bonfanti *et al.*, 2023). As a result, these systems are particularly prone to pest proliferation. This dynamic is exacerbated by climate change, especially in countries with high temperatures, degraded lands, and limited resources (Adan *et al.*, 2024), where extreme temperatures and increased precipitation influence pest expansion and reproduction, particularly insect pests (Skendžic *et al.*, 2021). Their infestations cause severe crop damage and yield losses, as exemplified by the Fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), a globally recognized invasive pest that severely damages maize (Davis *et al.*, 1995; Day *et al.*, 2017). First reported in Africa in 2016 (Goergen *et al.*, 2016), it causes considerable yield losses estimated between 8.3 and 20.5 million tons across 12 countries (Day *et al.*, 2017), which is critical as maize is a staple crop for millions of people.

This is particularly true in Benin, where maize holds high nutritional importance (Adégbola *et al.*, 2011) and is cultivated mainly in the cotton production zone, integrated into nearly all cropping systems (Diogo *et al.*, 2021; MAEP, 2025). However, the crop faces severe FAW pressure, exacerbating farmer vulnerability (Marc *et al.*, 2024). Benin's ferruginous and ferralitic soils are highly prone to pest reproduction (Boukari *et al.*, 2023), with approximately 93% of cultivated land infested (Houngbo *et al.*, 2020). According to a 2016 MAEP survey, FAW damage affected over 395,000 hectares of maize, causing an estimated loss of 415,000 tons, nearly 30% of national production (Houngbo *et al.*, 2020). Economically, losses in Benin are estimated between \$86.6 and \$215.6 million over a three-year average production period (Day *et al.*, 2017).

The initial responses from governments relied on synthetic insecticides, driven by the belief that the pest could be eradicated (Abang *et al.*, 2021; Ahissou *et al.*, 2021a). Nearly half of producers now use them (Cokola *et al.*, 2023), but these actions have proven largely ineffective, providing only marginal reductions while increasing costs and accelerating insecticide resistance (Yu *et al.*, 2003; Day *et al.*, 2017; Fotso Kuate *et al.*, 2019; Kenis *et al.*, 2019). Indeed, *S. frugiperda* has developed resistance to several insecticide classes (Ansari *et al.*, 2014; Du *et al.*, 2020). Moreover, repeated applications contaminate the environment, harm non-target organisms (including beneficial insects), and expose producers and consumers to hazardous substances. Alternative management measures exist (Ahissou *et al.*, 2021b), including crop rotation, intercropping, varietal resistance, early planting, natural extracts, natural enemies, parasitoids, and entomopathogenic fungi, bacteria, nematodes, and viruses (Prasanna *et al.*, 2018; Thierfelder *et al.*, 2018; Agboyi *et al.*, 2020; Aniwanou *et al.*, 2020; Adjaoke *et al.*, 2021; Ahissou *et al.*, 2021a; Koffi *et al.*, 2022; Berg and Plessis, 2024). However, these methods are often opportunistic, targeted, and dependent on external interventions, lacking a systemic, sustainable, self-regulated vision (Sanon *et al.*, 2025).

In this context, an effective control method must address the root cause of infestations: the excessive simplification of agroecosystems. Most cropping systems in Benin and globally remain focused on conventional agriculture based on tillage and heavy chemical inputs (Bot and Benites, 2005; Payton, 2021), leading to poorly stress resilient agroecosystems (Mahé *et al.*, 2017). Soil is reduced to a mere physical medium, neglecting its living ecosystem dimension (AFD, 2006; Bouammar, 2010), which favours pest proliferation, detrimental to production (Toguebaye *et al.*, 2016).

In contrast, natural environments are stable and diversified, with no such severe outbreaks. So, the use of cropping systems that mimic the functioning of natural environments becomes highly relevant. Based on the functioning of a natural forest ecosystem, conservation agriculture encompasses three key principles: minimizing soil disturbance, maintaining permanent soil cover, and returning high biomass through diverse crop rotations or intercropping (Seguy *et al.*, 2009). These conditions promote ecological balance with natural predators and entomopathogenic organisms that regulate pest populations (Seguy *et al.*, 2009).

A growing body of literature demonstrates the benefits of conservation agriculture on yield, soil health, and profitability, but few focus on insect pest management, particularly Fall armyworm. Moreover, the vast majority concentrate on the effects of conservation agriculture practices on pests. These studies indicate that reduced or no tillage promotes beneficial predator communities, enhancing biological pest control in maize (Kosewska *et al.*, 2014; Tamburini *et al.*, 2016; Rivers *et al.*, 2017; Pretorius *et al.*, 2018). Permanent cover (living, synthetic, or mineral) reduces pest populations, increases parasitism rates, and fosters suppressive fungal communities (Depalo *et al.*, 2017; Rendon *et al.*, 2020; Bruce *et al.*, 2022; Zhou *et al.*, 2023). Cover crops emit repellent volatile or mask crop signals, reducing pest infestations, as observed with legumes intercropped with maize (Lopes *et al.*, 2016; Hailu *et al.*, 2018). Finally, crop rotation disrupts pest life cycles and enhances biological control by increasing predator abundance and diversity (Dumanski *et al.*, 2006; O'Rourke *et al.*, 2008; Ouyang *et al.*, 2020).

The literature acknowledges individual benefits of conservation agriculture practices for pest regulation but tends to analyze them in isolation, overlooking the systemic synergy when integrated within the same agroecosystem. Yet, this interaction among components can foster durable, spontaneous resilience against pests like Fall armyworm. A holistic approach to assessing combined and potentially additive or synergistic effects is needed to guide the design of cropping systems resilient to FAW infestations.

Building on this gap, the central research question of this study is: « How can conservation agriculture contribute to the sustainable management of *S. frugiperda*? » With this objective, we compared the effects of sharply contrasting cropping systems (Conventional agriculture and Conservation agriculture) on Fall armyworm infestation in the cotton-growing zone of Benin. This study aims to assess how the conservation agriculture systems modulate FAW pressure and interacts with insecticide efficacy, contributing to the design of practical, integrated pest management programs for smallholder farming contexts across Sub-Saharan Africa and other FAW-affected regions.

2 Study Area

This study was conducted from May 2024 to August 2025 (encompassing two growing seasons) in the district of Parakou located in the Sudanian climatic zone of Bénin (between latitudes 9°15' and 9°27' North and longitudes 2°30' and 2°46' East; Figure 1). The dominant climate in Parakou is the south Sudanian climate (Djohy *et al.*, 2015) with a unimodal rainfall pattern and rainy season extending from

May to October. Annual rainfall averages around 1,000 mm, with the highest precipitation occurring in July, August, and September. The district is dominated by ferruginous tropical soils (72% of the area), complemented by ferrallitic soils (20%) and hydromorphic soils (8%) (PDC, 2018). The ferruginous soils include facies with concretions derived from kaolinic material. Our experimental site was located on such type of soil.

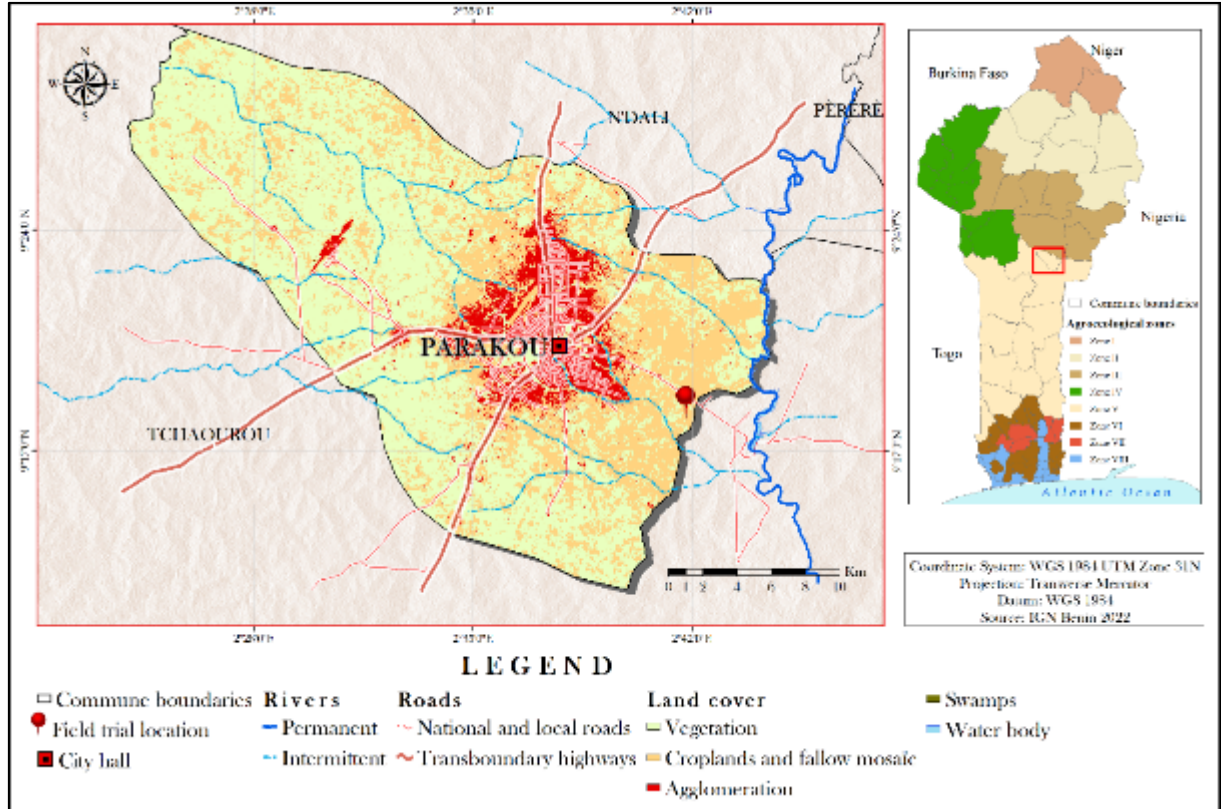


Figure 1. Map of the district of Parakou showing the field trial location. Map lines delineate study areas and do not necessarily depict accepted national boundaries

The vegetation of Parakou, belonging to the Sudanian region and the South Borgou phytogeographic district, has wooded formations covering 75% of the total area (DGFRN, 2007); it consists of a low, sparse wooded savannah dominated by *Parkia biglobosa*, *Blighia sapida*, *Diospyros mespiliformis*, and *Vitellaria paradoxa* (PDC, 2018). In lowlands and watercourses, marshy grasslands with bamboo (*Bambusa arundinacea*) and interconnected temporary ponds develop, while fallow lands are colonized by dense grass cover accompanied by shrub species. Under urban pressure, this vegetation tends to disappear in favour of inhabited areas (PDC, 2004). The hydrographic network is dominated by the Okpara and Yéroumaro basins with temporary streams (Tiédaro, Sabin-Boura, etc.). The Okpara, the only permanent river in the district (12 km east of the city), is a major tributary of the Ouémé River (PDC, 2018; Lanmandjekpogni *et al.*, 2019).

3 Methods

3.1 Experimental design and layout

The experiment was laid out in a split-plot design with four replications under rainfed conditions. Two factors, including cropping system and insecticide treatment, were examined in a 4 x 2 factorial arrangement. The cropping systems were assigned to the main plot factor, while insecticide treatment was considered as the sub-plot factor. Each main plot measured 21 m x 60 m, and a 3 m spacing was maintained between plots and blocks to facilitate tractors maneuverability. The combinations consisted of four cropping systems and two insecticide treatment types, namely, as the following:

- CT1: conventional agriculture system based on moldboard ploughing;
- CT2: conventional agriculture system based on disc ploughing;
- SD1: *Stylosanthes guianensis* mulch-based direct seeding system;

- SD2: *Crotalaria retusa* mulch-based direct seeding system;
- NT: Untreated sub-plots;
- T: Treated sub-plots with Acetamiprid 32g/l + Emamectin benzoate 2 g/L at the dose of 1 L/ha.

3.2 Field operations

In May 2024 a weedy fallow was implemented on conventional agriculture plots (CT1 and CT2), while conservation agriculture plots (SD1 and SD2) were established with a legume fallow using Sunn Hemp (*Crotalaria juncea*). The latter were sown using the density of 1,250,000 plants/ha with ten seeds per hole. The choice of *C. juncea* species as recommended across a wide range of climates as a cover crop (Meena and Lal, 2018) lay in its ability to rapidly produce a high biomass yield (8 t/ha) (Perin *et al.*, 2004; Menezes *et al.*, 2009; Soratto *et al.*, 2012) and a high foliar nitrogen content, which is obtained through biological nitrogen fixation. A growing interest for this species production in recent scattered agricultural projects in the country was initiated regarding its high biomass production for scaling up cropping systems such as conservation agriculture. Seeds were provided by the National Society for Agricultural Mechanization (SoNaMA AG Mech Ltd).

Table 1. Timetable of major field operations and data collection events

Cropping systems	Days after sowing	Date	Field operation
Every system	-33	19/05/2025	Rotary slashing
SD1 and SD2	-32	20/05/2025	Cowpea sowing
SD1 and SD2	-31	21/05/2025	Total herbicide spraying 1l/ha of Glyphosate 480 g/l
CT1 and CT2	-3	18/06/2025	Moldboard ploughing and disc ploughing
Every system	0	21/06/2025	Maize Sowing
Every system	0	21/06/2025	1rst nitrogen fertilization with 200 kg/ha of NPK
Every system	1	22/06/2025	Total herbicide spraying
Every system	20	11/07/2025	1rst FAW data collection
Every system	21	12/07/2025	1rst Insecticide spraying
Every system	27	18/07/2025	2nd FAW data collection
SD1 SD2	30	21/07/2025	Cover crops sowing
Every system	30	21/07/2025	2nd nitrogen fertilization
Every system	31	22/07/2025	Selective herbicide spraying
Every system	34	25/07/2025	3rd FAW data collection
Every system	35	26/07/2025	2nd Insecticide spraying
Every system	41	01/08/2025	4th FAW data collection
Every system	45	05/08/2025	3rd nitrogen fertilization
Every system	48	08/08/2025	5th FAW data collection
Every system	49	09/08/2025	3rd Insecticide spraying
Every system	120	19/10/2025	Harvest

CT1 = Conventional agriculture based on moldboard ploughing; CT2 = Conventional agriculture based on disc ploughing; SD1 = *S. guianensis*-mulch-based direct seeding system; SD2 = *C.retusa*-mulch-based direct seeding system; FAW = Fall armyworm; NPK = Nitrogen, Phosphorus, Potassium.

In May 2025 (Table 1), prior to maize cultivation, cowpeas were sown with the density of 250,000 plants/ha with two seeds per hole, to ensure the soil cover in the beginning of the season. The plots were then cultivated with TZPB SR-W, a long season maize variety (120 days) disseminated in the production zone (Yallou *et al.*, 2010). Sowing density was 62,500 plants/ha with a row spacing of 0.8 m and plant spacing of 0.2 m using one seed per hole for every cropping system. Following the functioning principles of conservation agriculture cropping systems, *Stylosanthes guianensis* and *Crotalaria retusa* were intercropped in maize 30 days after sowing (DAS) for soil cover, in SD1 and SD2 respectively. Weeds management was performed mechanically using hoes and dabas (for conventional agriculture systems), and chemically using Glyphosate 480 g/L and Nicosulfuron 40 g/L. The insecticide was

applied fortnightly from 21 DAS to 42 DAS using knapsack sprayers early in the morning or early in the evening.

3.3 Data collection

Data were collected before insecticide applications at 20, 27, 34, 41, 48 DAS on 15 randomly selected maize plants in each sub-plot, following an “X” pattern. The variables assessed were the infestation incidence, leaf damage severity and the number of larvae per plant. The incidence of infestation was evaluated using the formula $P_i(\%) = \text{Number of infested plants} / \text{total number of plants assessed} * 100$.

Regardless of the presence of feeding larvae, plants with visible damages were identified as damaged. Leaf damage severity was assessed non-destructively using a rating scale from 0 to 5, which was described by (Adeye *et al.*, 2018) and adapted by (Aniwanou *et al.*, 2020), as follows: 0- Plant presenting no visible leaf-feeding damage (no damage); 1- Plant presenting superficial perforations and small circular holes or windowing effect (up to 1.3 cm in length); 2- Plant presenting large perforations (up to 2.5 cm in length); 3-Plant presenting a whorl with superficial perforations (up to 1.3 cm in length); 4- Plant presenting a whorl severely attacked, 5- Plant completely destroyed. The number of larvae per plant was assessed by counting alive FAW larvae upon visual observation of the plant whorl and young leaves.

3.4 Statistical Analysis

All analyses were performed in R Core Team (2025). Three response variables were analyzed (infestation incidence, leaf damage severity and number of larvae per plant count data). All variables were measured at five assessment times (DAS) on 15 randomly selected plants per subplot. For each response variable, the fixed effect's structure included cropping systems, insecticide treatment, assessment time and all two-way and three-way interactions. The split-plot error hierarchy was represented through two nested random intercept terms common to all models *1|block: system* capturing main-plot variance and constituting the error stratum against which cropping system is tested and *1|block: system:treatment* capturing subplot variance and constituting the error stratum against which insecticide treatment and all interactions involving treatment are tested. When significant interactions were detected, simple effects were examined conditionally within the relevant factor levels. Post-hoc pairwise comparisons and estimated marginal means were computed using the *emmeans* package (Lenth and Piaskowski, 2025) with Sidak adjustment.

Infestation incidence proportions were computed per sub-plot as the number of infested plants out of the 15 assessed and were analyzed on the binomial count scale through a generalized linear mixed model (GLMM) with logit links using the *lme4* package (Bates *et al.*, 2015). The response as specified as a two-column matrix of infested and non-infested plants counts avoiding any prior transformation of raw counts into proportions. Model adequacy was verified using simulation-based residual diagnostics *DHARMA* (Hartig *et al.*, 2025). Fixed effects were tested using Type II Wald chi-squared tests. Estimated marginal means are reported as back-transformed predicted incidence proportions with 95% confidence intervals.

Leaf damage severity was analyzed using a cumulative link mixed model (CLMM) with logit link and flexible threshold specification using *ordinal* package (Christensen, 2023) which models the cumulative probability $P(Y \leq k)$ on a latent continuous scale without assuming equal spacing between severity categories. The proportional odds assumption that the treatment log-odds ratio is constant across all severity thresholds was verified for each fixed factor via likelihood ratio tests (LRT) comparing the fitted CLMM against equivalent nominal-effects models. Fixed effects were tested by LRT. Post-hoc contrasts are reported on the cumulative probability scale as differences in average $P(Y \leq k)$ with Sidak adjustment.

Larval counts were analyzed using a negative binomial GLMM with log link and NB2 variance function using *glmmTMB* package (Brooks *et al.*, 2017; McGillicuddy *et al.*, 2025) selected over Poisson and zero-inflated alternatives based on AIC comparison. Overdispersion was assessed prior to model fitting using the Pearson dispersion statistic and zero inflation was evaluated by comparing observed zero frequencies against Poisson expectations. Model adequacy was verified using *DHARMA* simulation-based diagnostics including tests for uniformity, dispersion and zero inflation. Fixed effects were tested using Type II Wald chi-squared tests. Post-hoc contrasts are expressed as ratios of means back transformed from the log scale.

4 Results

4.1 Model diagnostics and selection

Model adequacy was confirmed for all three models via simulation-based residual diagnostics. Uniformity, dispersion and zero-inflation tests were non-significant (all p-values > 0.05). The three-way interaction term (cropping systems × insecticide × DAS) was non-significant across all three responses (Table 2) and was retained in the incidence and larval count models for confirmatory purposes, while for leaf damage severity a more parsimonious two-way interaction model was supported by a likelihood ratio test ($\chi^2 = 18.37$, df = 12, p = 0.105) and lower AIC (6944.0 vs. 6949.6). Fixed effect was tested using type II Wald chi-squared test for the GLMMs (incidence and larval counts) and by likelihood ratio tests for the CLMM (leaf damage severity). Post-hoc pairwise comparisons were computed using estimated marginal means (EMMs) with Sidak adjustment (Table 2).

Table 2. Type II Wald chi-squared tests (infestation incidence and larval counts) and likelihood ratio tests (leaf damage severity) for fixed effects of cropping system, insecticide treatment, and assessment time

Source of variation	df	Infestation incidence		Leaf damage severity		Larval counts	
		χ^2	p	χ^2	p	χ^2	p
Cropping system (CS)	3	24.51	< 0.001	21.86	< 0.001	9.24	0.026
Insecticide treatment (T)	1	84.14	< 0.001	125.50	< 0.001	48.15	< 0.001
Assessment time (DAS)	4	37.61	< 0.001	39.25	< 0.001	49.22	< 0.001
CS × T	3	7.62	0.055	11.43	0.010	1.65	0.648
CS × DAS	12	18.25	0.108	20.33	0.061	26.10	0.010
T × DAS	4	78.97	< 0.001	169.76	< 0.001	85.49	< 0.001
CS × T × DAS	12	9.53	0.657	18.37	0.105	13.18	0.356

Note: Bold p-values indicate significance at $\alpha = 0.05$; Infestation incidence: binomial GLMM (Type II Wald χ^2); Leaf damage severity: CLMM (LRT); Larval counts: negative binomial GLMM (Type II Wald χ^2); DAS = days after sowing; All models fitted with nested random intercepts (1|block: system) and (1|block: system: treatment) representing the split-plot error hierarchy.

4.2 Effects of Cropping Systems and Insecticide Treatment on Infestation Incidence

The marginal R^2 /conditional R^2 of the final incidence model was 0.742/0.830 (Table 6; Annex), indicating that fixed effects explained 74.2% of the response variance, with random effects accounting for an additional 8.8%. Cropping systems was a highly significant predictor of FAW infestation incidence (p < 0.001; Table 2), with conservation agriculture systems (SD1, SD2) consistently recording lower incidence than conventional agriculture systems (CT1, CT2). Average across insecticide treatments and assessment times, the odds of infestation were approximately 2.9-fold higher in CT1 relative to SD1 and 2.4-fold higher relative to SD2 (Table 3). CT2 showed similarly elevated odds compared to both conservation agriculture systems. The two conventional systems were indistinguishable from each other (p = 0.986), as were the two conservation systems (p = 0.878), yielding two distinct cropping systems clusters: {CT1, CT2} and {SD1, SD2}. Insecticide treatment exerted a strong overall effect on the incidence (p < 0.001; Table 2). The cropping system × treatment interaction was marginal (p = 0.055; Table 2), indicating that the cropping system effect was largely independent of insecticide applications. Nonetheless, conditional post-hoc analysis within insecticide treatment levels revealed an important asymmetry. Under untreated plots, the cropping systems advantage was pronounced and statistically robust. Both CT systems were approximately about 3.4-fold more likely to be infested than both SD systems (Table 4). Under treated plots, only the CT1 vs. SD1 contrast remained significant (OR = 2.449, p = 0.014), while CT1 vs. SD2, CT2 vs. SD1 and CT2 vs. SD2 contrast were no longer significant (all p ≥ 0.071). Additionally, conditional post-hoc analysis within cropping systems levels revealed that the reduction of the infestation incidence is less pronounced under conservation agriculture systems (SD) compared to the conventional agriculture cropping systems (CT). Under CT, treating reduces incidence 4-fold compared to no application, whereas in SD systems, it reduces it 2 to 3-fold (Table 5).

Table 3. Estimated marginal mean (EMM) pairwise contrasts for cropping system, averaged over insecticide treatment and assessment time

Contrast	Infestation incidence		Leaf damage severity		Larval counts	
	OR [95% CI]	p	$\Delta P(y \leq k)$ (SE)	p	Ratio [95% CI]	p
CT1 vs. CT2	1.095 [0.65-1.85]	0.986	-0.012 (0.038)	1.000	1.104 [0.66-1.85]	0.999
CT1 vs. SD1	2.895 [1.71-4.90] ***	0.0002	-0.146 (0.038) ***	0.0008	1.913 [1.04-3.52] *	0.039
CT1 vs. SD2	2.409 [1.41-4.11] **	0.003	-0.127 (0.039) **	0.007	1.707 [0.93-3.14]	0.132
CT2 vs. SD1	2.644 [1.56-4.49] ***	0.0007	-0.134 (0.038) **	0.003	1.733 [0.95-3.17]	0.122
CT2 vs. SD2	2.200 [1.29-3.75] **	0.010	-0.114 (0.039) *	0.018	1.546 [0.85-2.82]	0.329
SD1 vs. SD2	0.832 [0.49-1.42]	0.878	0.019 (0.039)	1.000	0.892 [0.49-1.63]	0.998

Note: ****: $p < 0.0001$; ***: $p < 0.001$; **: $p < 0.01$; *: $p < 0.05$; No asterisk = $p > 0.05$; OR = odds ratio (log-odds scale); $\Delta P(y \leq k)$ = difference in average cumulative probability; Positive values indicate a shift toward lower severity scores; SE is associated standard error; Ratio = ratio of estimated marginal means larval counts back transformed from log scale; p-values are Sidak-adjusted; CT = conventional systems; SD = conservation systems.

Table 4. Estimated marginal mean (EMM) pairwise contrasts for cropping system, by insecticide treatment and averaged over assessment time

Contrast	Infestation incidence		Leaf damage severity		Larval counts		
	OR [95% CI]	p	$\Delta P(y \leq k)$ (SE)	p	Ratio [95% CI]	p	
NT	CT1/CT2	1.011[0.49-2.049]	1.0000	0.000 (0.043)	1.0000	1.251 [0.75-2.07]	0.9272
	CT1/SD1	3.422[1.78-6.55] ***	0.0007	-0.190 (0.047) ***	0.0004	1.811 [1.052-3.11]	0.0910
	CT1/SD2	3.325 [1.73-6.37] **	0.0010	-0.190 (0.047) ***	0.0002	1.792 [1.04-3.08]	0.1012
	CT2/SD1	3.384[1.76-6.47] ***	0.0007	-0.190 (0.047) ***	0.0004	1.447 [0.84-2.48]	0.5829
	CT2/SD2	3.287 [1.71-6.29] **	0.0010	-0.190 (0.039) ***	0.0002	1.432 [0.83-2.46]	0.6141
	SD1/SD2	0.972 [0.52-1.80]	0.9997	-0.003 (0.05)	1.0000	0.989 [0.58-1.66]	1.0000
T	CT1/CT2	1.186 [0.58-2.40]	0.9431	-0.025 (0.047)	0.9955	0.974 [0.59-1.59]	1.0000
	CT1/SD1	2.44[1.20-4.98] *	0.0138	-0.102 (0.044)	0.1272	2.020 [1.07-3.81]	0.0688
	CT1/SD2	1.74 [0.86-3.54]	0.2363	-0.060 (0.047)	0.7300	1.626 [0.87-3.03]	0.3507
	CT2/SD1	2.06[1.01-4.20]	0.0713	-0.077 (0.044)	0.3919	2.075 [1.09-3.91]	0.0515
	CT2/SD2	1.47 [0.72-2.99]	0.5618	-0.035 (0.046)	0.9693	1.670 [0.89-3.11]	0.2863
	SD1/SD2	0.71 [0.35-1.44]	0.6533	0.041 (0.044)	0.9217	0.892 [0.45-1.42]	0.9722

Note: ****: $p < 0.0001$; ***: $p < 0.001$; **: $p < 0.01$; *: $p < 0.05$; No asterisk = $p > 0.05$; OR = odds ratio (log-odds scale); $\Delta P(y \leq k)$ = difference in average cumulative probability; Positive values indicate a shift toward lower severity scores; SE is associated standard error; Ratio = ratio of estimated marginal means larval counts back transformed from log scale; p-values are Sidak-adjusted; NT= Untreated; T = Treated; CT = conventional systems; SD = conservation systems.

Table 5. Estimated marginal mean (EMM) pairwise contrasts for insecticide treatment, by cropping system and averaged over assessment time

Contrast	Infestation incidence		Leaf damage severity		Larval counts		
	OR [95% CI]	p	$\Delta P(y \leq k)$ (SE)	p	Ratio [95% CI]	p	
CT1	NT/T	3.93 [2.27-6.8] ****	<0.0001	-0.297 (0.03) ****	<0.0001	2.11 [1.56-2.85] ****	<0.0001
CT2							

SD1		2.82b [1.75-4.5] ****	<0.0001	-0.207 (0.03) ****	<0.0001	2.35 [1.63-3.38] ****	<0.0001
SD2		2.07 [1.23-3.46] **	0.0016	-0.160 (0.03) ****	<0.0001	1.91 [1.32-2.75] ****	<0.0001

Note: ****: $p < 0.0001$; ***: $p < 0.001$; **: $p < 0.01$; *: $p < 0.05$; No asterisk = $p > 0.05$; OR = odds ratio (log-odds scale); $\Delta P(y \leq k)$ = difference in average cumulative probability; Positive values indicate a shift toward lower severity scores; SE is associated standard error; Ratio = ratio of estimated marginal means larval counts back transformed from log scale; p-values are Sidak-adjusted; NT= Untreated; T = Treated; CT = conventional systems; SD = conservation systems.

4.3 Effects of Cropping system and Insecticide Treatment on Leaf Damage

The marginal R^2 / conditional R^2 of the severity CLMM was 0.243 / 0.272 (Table 6; Annex). Consistent with the incidence findings, both cropping system and insecticide treatment significantly affected the distribution of leaf damage severity scores (Table 2). The CLMM identified highly significant effects of cropping systems ($p < 0.001$), insecticide treatment ($p < 0.001$), and DAS ($p < 0.001$), as well as a significant cropping system \times treatment interaction ($p = 0.010$) and a strong treatment \times DAS interaction ($p < 0.001$). The CS \times DAS interaction was non-significant ($p = 0.061$). Model coefficients revealed that both conservation systems (SD1, SD2) shifted the entire severity distribution toward lower scores relative to CT1 (Table 6, Annex). The cumulative log-odds of scoring at or below any given threshold were significantly elevated for SD1 (OR = 0.26, $p < 0.001$) and SD2 (OR = 0.18, 95, $p < 0.001$). Within each system cluster, CT1 and CT2 were completely indistinguishable ($p = 1.000$), as were SD1 and SD2 ($p = 1.000$; Table 3).

Post-hoc comparisons on the cumulative probability scale revealed a notable cropping system \times treatment interaction (Figure 2 and Figure 3). Under untreated plots, mean cumulative probabilities of falling at or below any threshold were markedly higher in SD systems (Figure 2), representing an approximately 19 - 20 %-point advantage for conservation agriculture systems (all four SD vs. CT contrast have $p < 0.05$, Table 4). Under treated plots, however, the cropping system advantage was completely eliminated. Indeed, all four systems exhibited high cumulative probabilities (range 0.690 - 0.793; Figure 2), and no pairwise contrast between systems was significant (Table 4). This equalization represents a categorical divergence from the incidence findings, here a residual cropping system effect persisted under treatment. Notably, the level of damage suppression achieved by CT systems with insecticide (CT1 = 0.690; CT2 = 0.715) was broadly comparable to the damage distributions observed in SD systems without insecticide (SD1 = 0.585; SD2 = 0.588) suggesting that conservation agriculture cropping systems may partially substitute for chemical inputs in terms of damage suppression under untreated conditions.

Additionally, post-hoc comparisons of cropping systems by insecticide treatment averaged over all assessment times revealed that untreated plots consistently shifted toward higher leaf damage severity scores compared to treated plots across all four systems (Table 5). This shift was most pronounced under conventional systems, where CT2 and CT1 showed the largest displacements in mean cumulative probability toward more severe damage categories (CT2 = -0.321 and CT1 = -0.297), indicating that treated plots were substantially more likely to fall at or below any given damage threshold than their untreated counterparts. Under conservation systems, this shift was comparatively less marked, with SD1 and SD2 showing smaller but still highly significant displacements (SD1 = -0.207 and SD2 = -0.160), suggesting that even in the absence of insecticide treatment, conservation systems maintained a relatively more favourable damage severity distribution.

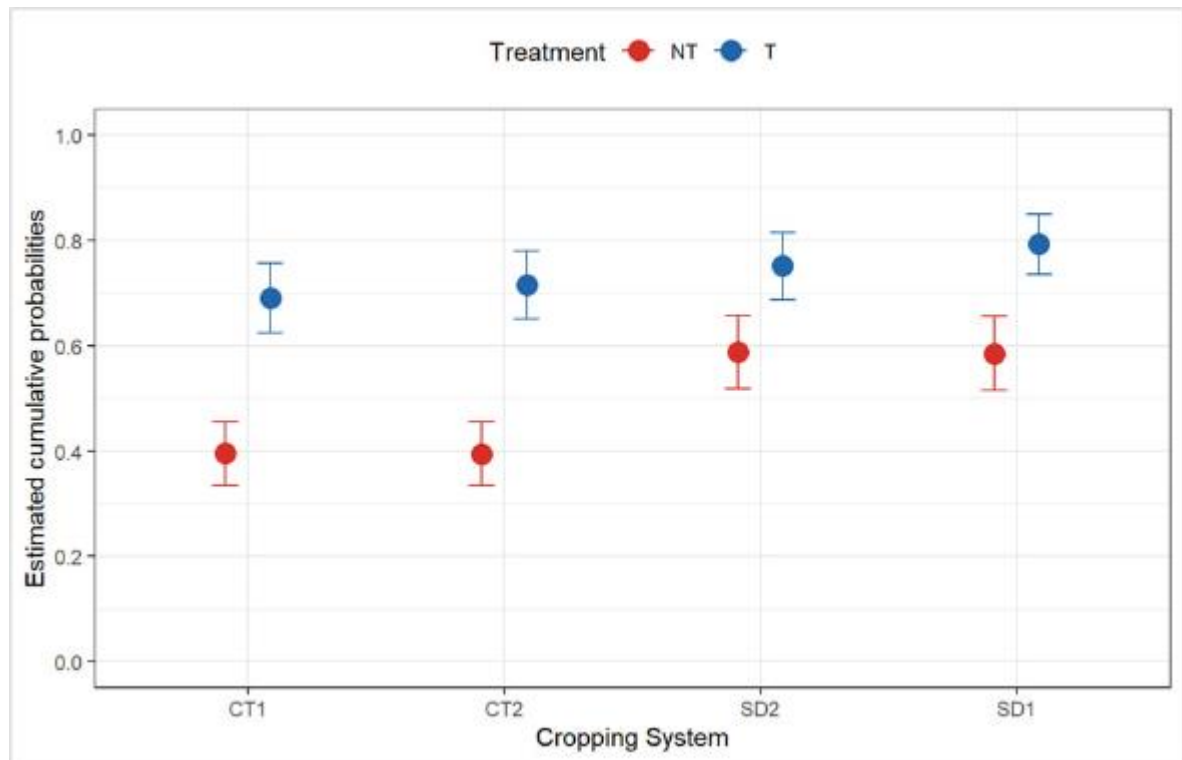


Figure 2. Estimated cumulative probabilities from CLMM (Mean ± 95% asymptotic CI)

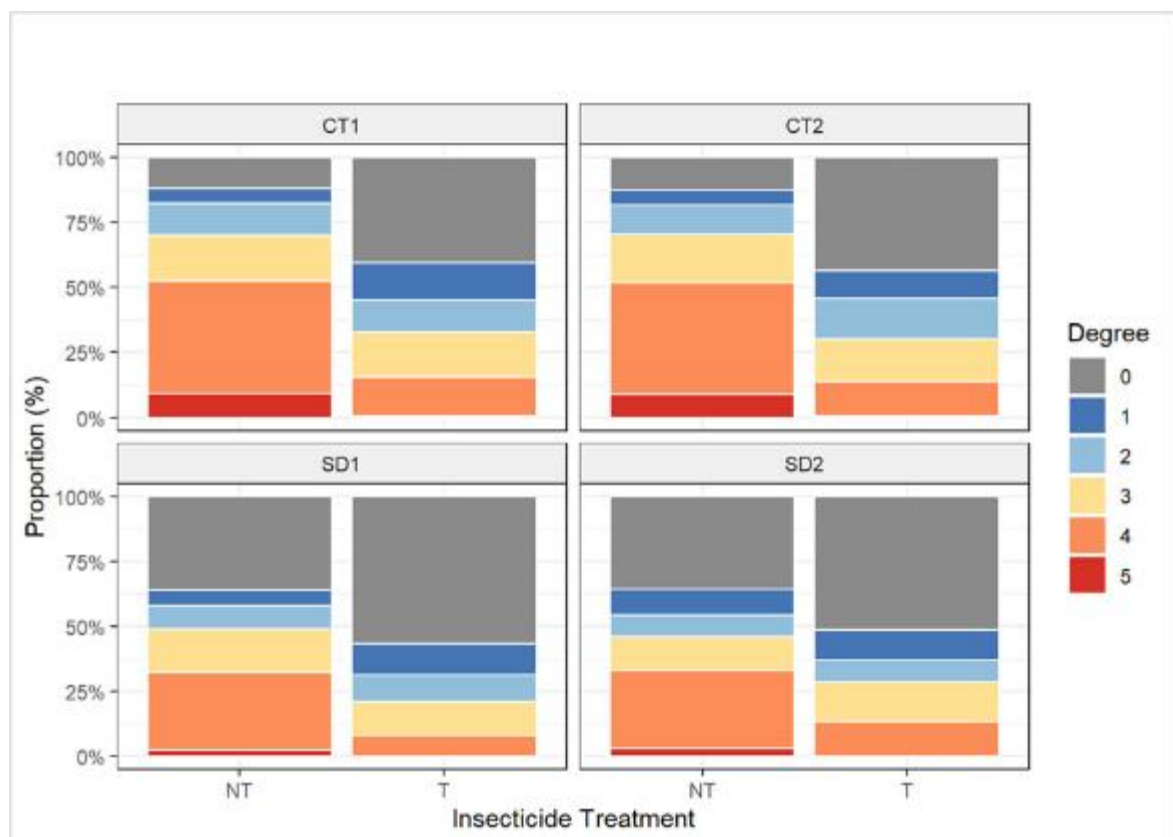


Figure 3. Severity degree distribution of insecticide effect by cropping System pooled over all assessment times

4.4 Effects of Cropping System and Insecticide Treatment on Larval count

The marginal R^2 /conditional R^2 of the final larval count model was 0.278/0.339, indicating that fixed effects explained 27.8% of the response variance, with random effects accounting for an additional 6.1% (Table 6; Annex). Larval count per plant mirrored the directional pattern of the other two response variables, with cropping systems significantly influencing it ($p = 0.026$; Table 2). Averaged across insecticide treatments and assessment times, conservation systems supported lower larval density (Figure 4). Indeed, SD1 harboured significantly fewer larvae than CT1 (ratio = 1.913, $p = 0.039$, Table 3), while SD2 showed a consistent trend in the same direction but did not achieve significance after multiplicity correction (ratio = 1.707, $p = 0.132$; Table 3). CT1 and CT2 were not statistically distinguished (ratio = 1.104, $p = 0.999$; Table 3), nor were SD1 and SD2 (ratio = 0.892, $p = 0.998$). By compact letter display (Figure 4), SD1 formed groups 'a', CT1 formed group 'b', with SD2 and CT2 sharing both letters ('ab'), reflecting partial but incomplete separation of the two system clusters, a notably weaker discrimination than observed for incidence or severity.

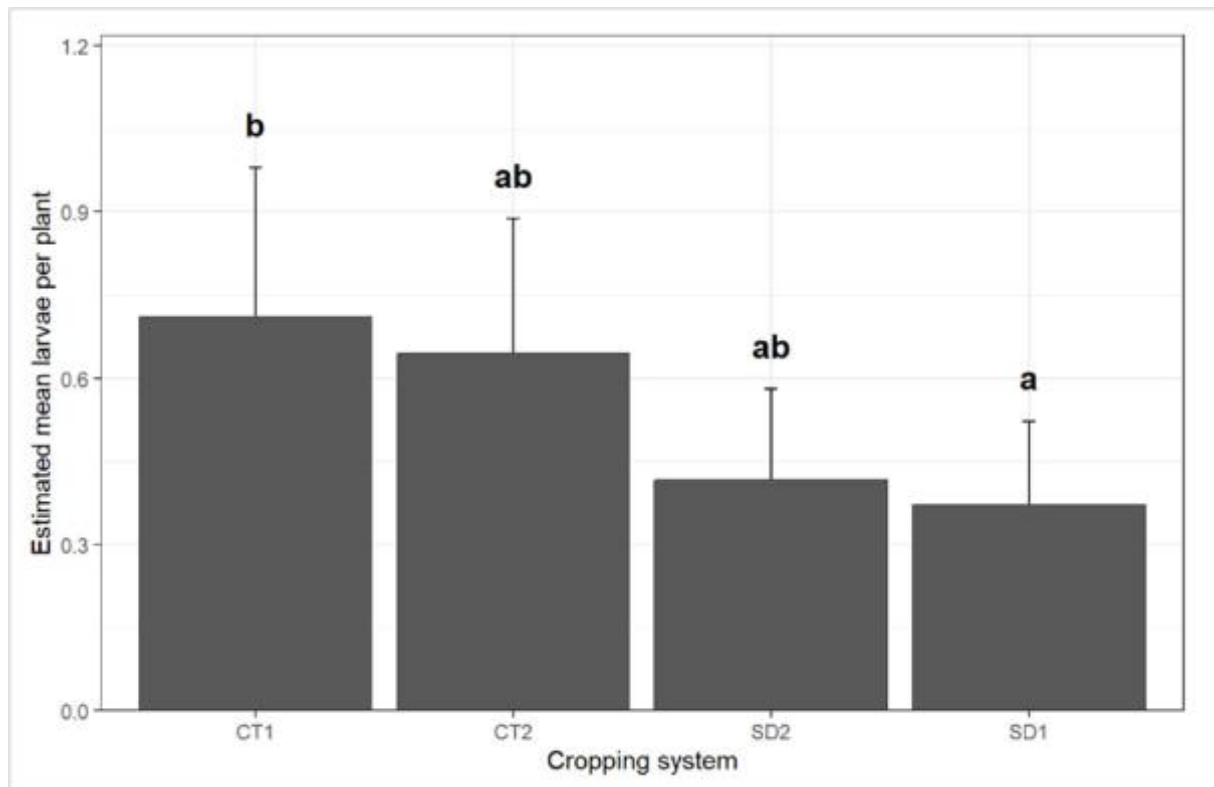


Figure 4. Estimated Marginal Means of cropping system effect on larval Count

Insecticide treatment again significantly reduced larval density overall ($p < 0.001$; Table 2). The cropping system \times treatment interaction had no significant effect on larval density ($p = 0.648$; Table 2), indicating that the cropping system effect was largely independent of insecticide applications. Conditional post-hoc analysis within insecticide treatment levels didn't reveal any asymmetry like infestation incidence and leaf damage.

5 Discussion

This work provides field evidence that conservation agriculture cropping systems consistently suppresses FAW pressure across all three measured indicators relative to conventional systems, and that cropping system structure modulates the magnitude of insecticide efficacy. These findings align with Tambo and Kirui (2021) and Kumar *et al.* (2022), who observed that conservation agriculture practices, including minimum soil disturbance, residue retention, and intercropping, help manage FAW by creating unfavourable environments and increasing natural predator presence. Key impacts of conservation agriculture on FAW management are reduced infestation, natural control and better ecosystems. These sustainable farming methods are seen as a long-term, ecological approach to reducing reliance on chemical pesticides. These results are discussed below in relation to infestation incidence, larval counts, and leaf damage severity.

5.1 Infestation Incidence and Number of Larvae per Plant

Both cropping system and insecticide treatment significantly influence FAW infestation incidence, with a marginal interaction between these factors ($p = 0.055$). Under natural pressure (NT), conservation agriculture systems (SD) exhibit significantly lower infestation incidence than conventional systems (CT). While insecticide applications (T) significantly reduce the incidence across all systems ($p < 0.05$), its effect is markedly stronger in CT (approximately 4-fold reduction) than in SD (2 to 3-fold reduction). This differential response largely eliminates differences between systems under treated conditions (T), with incidence levels becoming statistically comparable across most system pairs. The differential NT/T ratios across systems reveal that the CT systems show a greater response to insecticide applications than SD systems. This pattern suggests that insecticide partially attenuates, but does not fully eliminate the inherent protective effect of conservation agriculture cropping systems on infestation incidence.

Larval counts per plant follow a directionally consistent pattern with infestation incidence, with conservation agriculture systems supporting lower larval density than conventional systems. However, the discrimination between system clusters is notably weaker for this response variable: SD1 is the only system significantly distinguishable from CT1 (ratio = 1.913, $p = 0.039$), while SD2 and CT2 occupy an intermediate position sharing statistical group membership with both clusters. This partial separation suggests that larval abundance is a noisier indicator of cropping system effects than infestation incidence or damage severity, likely reflecting the high natural variability inherent to larval count data in field conditions. Unlike infestation incidence, the cropping system \times insecticide interaction is non-significant for larval counts ($p = 0.648$), indicating that insecticide reduced larval abundance consistently across all systems regardless of cropping system context. The uniform insecticide response across systems contrasts with the differential pattern observed for infestation incidence, suggesting that while cropping system structure influences the probability of pest establishment, it does not substantially alter the magnitude of chemical suppression of established larval populations.

The lower pest pressure observed in conservation agriculture systems can be interpreted through two complementary, non-mutually exclusive mechanisms: habitat-mediated disruption of pest establishment and enhanced biological regulation by natural enemies. Regarding habitat effects, at the landscape scale, habitat connectivity has been identified as a key driver of FAW dispersal and host-plant location (Mlambo *et al.*, 2024). While our study operates at the plot scale, the structural simplification of conventional systems (tilled, largely bare soil and monoculture) may generate analogous connectivity effects at a finer spatial resolution, facilitating pest movement and establishment within the field. In contrast, conservation agriculture systems, through permanent plant cover and crop diversification, generate a heterogeneous and structurally complex micro-habitat. This complexity likely disrupts FAW host-searching behaviour, thereby reducing the probability of successful plant colonization, although FAW behaviour and movement were not directly measured in this study, and this interpretation remains inferential. Clarkson *et al.* (2022) and Harrison *et al.* (2019) reported similar patterns at larger spatial scales, documenting that habitat complexity associated with forest proximity significantly reduced FAW damage, suggesting that the structural diversification effect observed here at the plot scale mirrors mechanisms documented at the landscape scale. Badenhausser *et al.* (2020) further demonstrated empirically that habitat structure and plant diversity are key drivers of biological pest control services in agricultural landscapes, providing a conceptual basis for the patterns observed in our study.

Regarding biological regulation, although natural enemy populations are not directly quantified in this study, the lower pest pressure under conservation agriculture systems is consistent with enhanced biological control activity. Tillage, which characterizes conventional systems, is well documented to mechanically destroy the habitat of soil-dwelling natural enemies, thereby reducing their abundance and activity (Rowen *et al.*, 2020). Dassou *et al.* (2021) documented predation pressure three times higher under conservation agriculture than under conventional tillage in cotton-based cropping systems in Benin. This finding suggests a comparable mechanism may have contributed to the pest suppression patterns observed here, though direct confirmation would require explicit quantification of beneficial arthropod communities in future studies.

Beyond habitat complexity and biological regulation, the cover crop species integrated in conservation agriculture systems may have contributed additional direct and indirect pest suppression effects through plant-derived biochemical mechanisms. In SD2, *Crotalaria retusa* is intercropped with maize during the cropping season, following a first-year fallow of *Crotalaria juncea*. The *Crotalaria* genus produces alkaloids with documented repellent properties toward a wide range of phytophagous insects (Rech *et al.*, 2024). While no study has yet specifically documented FAW sensitivity to *Crotalaria* alkaloids, Dias *et al.* (2016) demonstrated that *C. juncea* significantly reduced FAW survival in pure stand, and mulch

from this species has been shown to reduce damage by multiple pest species in other crops (Quintanilla-Tornel *et al.*, 2016). Furthermore, when intercropped with economically important crops, *Crotalaria* species have consistently been associated with reduced pest infestation (Manandhar *et al.*, 2009; Hinds and Hooks, 2013; Manandhar and Wright, 2016). In addition to its repellent properties, the genus has also been documented to attract natural enemies in maize-based systems (Venzon *et al.*, 2006; Poutouli *et al.*, 2011; Tavares *et al.*, 2011 and Azis, 2017), suggesting a dual suppressive role: direct biochemical deterrence of herbivores combined with indirect enhancement of biological control.

In SD1, *Stylosanthes guianensis* serves as the primary cover crop. Direct evidence for *Stylosanthes*-mediated FAW suppression remains limited. Wyckhuys *et al.* (2023) found no significant effect of the legume integration on FAW regulation, and the mechanisms underlying SD1's pest suppression performance in our studies are therefore less clearly attributable to cover crop biochemistry than those of SD2. The comparable performance of SD1 and SD2 across all three response variables, despite their different cover crop species, suggests that the shared structural and biological regulation mechanisms (reduced tillage, permanent soil cover, and associated natural enemy conservation) may represent the dominant drivers of pest suppression in both systems, with cover crop-specific biochemical effects playing a secondary or complementary role.

5.2 Leaf Damage Severity

Leaf damage severity follows a pattern broadly consistent with infestation incidence, with conservation agriculture systems exhibiting significantly lower damage severity distributions than conventional systems under untreated conditions. However, two findings specific to this response variable deserve particular attention.

First, the cropping system \times insecticide interaction is significant for leaf damage severity ($p = 0.010$), in contrast to the marginal interaction observed for infestation incidence ($p = 0.055$). Under untreated conditions, SD systems show an approximately 19-20 % advantage in the mean cumulative probability of falling at or below any damage threshold relative to CT systems. Under treated conditions, however, this advantage is completely eliminated: all four systems converge to statistically indistinguishable damage distributions. This complete equalization under treatment suggests that insecticide application is sufficient to override the intrinsic protective effect of conservation agriculture on foliar damage, a pattern distinct from infestation incidences where a residual system advantage persists even after treatment.

Second, and particularly noteworthy, the damage severity distributions achieved by CT systems with insecticide applications are broadly comparable to those observed in SD systems without treatment. This convergence suggests that the structural and biological complexity of conservation agriculture systems may partially substitute for chemical inputs in terms of foliar damage suppression. This finding has practical implications for the design of reduced-input crop protection strategies in smallholder systems.

The mechanisms underlying the lower foliar damage severity in untreated SD systems likely operate through multiple pathways. Beyond the habitat complexity and biological regulation mechanisms discussed above, plant nutritional status may play a contributing role. Intensive tillage and heavy chemical inputs associated with conventional systems have been documented to alter plant tissue composition, promoting accumulation of soluble nitrogen compounds and reducing sugars that are known to enhance herbivore performance and feeding (Seguy *et al.*, 2009). Conservation agriculture practices, by contrast, promote soil biological activity and more balanced plant nutrition, potentially reducing plant susceptibility to herbivore attack. Additionally, the trypsin inhibitors documented in *Crotalaria* seeds have been shown to inhibit FAW digestive enzymes (Gomes *et al.*, 2005), suggesting a direct antinutritional effect on larvae feeding in SD2 plots that may have contributed to the reduced damage severity observed in that system.

6 Conclusion

The two-season field experiment provides evidence that conservation agriculture significantly reduces Fall Armyworm pressure in maize. The integration of reduced tillage, permanent soil cover, and diversified cover crops consistently lowered infestation incidence, leaf damage severity, and larval counts compared to conventional tillage systems. Importantly, while insecticide application reduced pest pressure across all systems, its relative effect was greater in conventional systems (approximately 4-fold reduction) than in conservation agriculture systems (2 to 3-fold reduction), indicating that conservation agriculture partially preserves intrinsic pest regulation capacity and thereby reduces

reliance on chemical control. These findings have practical implications for integrated pest management in smallholder maize systems across Sub-Saharan Africa and other FAW-affected regions. By lowering baseline pest pressure and modulating insecticide efficacy, conservation agriculture offers a sustainable crop protection approach that may contribute to slowing the development of insecticide resistance while maintaining adequate pest suppression. Based on a single experimental site, these results require validation across diverse agro-ecological zones. Future research will focus on directly quantifying natural enemy communities, identifying the most effective cover crop species, and determining minimum insecticide thresholds compatible with conservation agriculture's protective ecological functions.

7 Funding

This work was supported by the Société Nationale de Mécanisation Agricole (SoNaMA), Benin, which covered all field experimentation costs including machinery and agricultural inputs. SoNaMA had no role in study design, data collection and analysis, interpretation of results, writing of the manuscript, or the decision to submit for publication.

8 Credit Authorship Contribution Statement

Melchis Ahouansou-karl: Writing - reviewing and editing, Writing - original draft, Visualization, Validation, Resources, Project administration, Methodology, Investigation, Formal analysis, Data curation, Conceptualization.	Stéphane Boulakia: Validation, Supervision, Methodology, Funding acquisition, Conceptualization.
Capo Séraphin Atidegla: Validation, Supervision, Methodology, Funding acquisition, Conceptualization.	Antonio Sinzogan: Writing - reviewing and editing, Supervision, Methodology.
Julien Avakoudjo: Writing - reviewing and editing, Supervision, Methodology, Investigation.	Aboubakar Souna Djibril: Writing - reviewing and editing, Formal analysis.
Maurille Elegbede: Writing - reviewing and editing, Methodology.	Delano Ronald Togbé: Writing - reviewing and editing, Formal analysis.
Reine Ati: Writing - reviewing and editing, Supervision.	Crépin Aniwanou: Writing - reviewing and editing, Resources, Methodology, Investigation, Formal analysis, Conceptualization.
Dieudonné Agonkpahoun: Writing - reviewing and editing, Visualization, Resources, Methodology, Investigation, Formal analysis, Data curation, Conceptualization.	Elisabeth Zannou: Validation, Supervision, Methodology, Conceptualization.

9 Declaration of Interests

Reine Ati is currently employed by the "Société Nationale de Mécanisation Agricole (SoNaMA)" which provided funding for the field experiments. Her employment is disclosed as a potential perceived conflict of interest. If there are other authors, they declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

10 Data availability

Data will be made available upon request.

11 Acknowledgements

We gratefully acknowledge the Faculty of Agronomy of Parakou, University of Parakou, Benin, for hosting the field trials and providing essential land.

12 References

- Abang, A.F., S.N. Nanga, A. Fotso Kuate, C. Kouebou, C. Suh, C. Masso, M.-G. Saethre, K.K.M. Fiaboe, 2021: Natural enemies of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in different agro-ecologies. *Insects* 12, 509. <https://doi.org/10.3390/insects12060509>
- Abbas, A., F. Ullah, M. Hafeez, X. Han, M.Z.N. Dara, H. Gul, C.R. Zhao, 2022: Biological Control of Fall Armyworm, *Spodoptera frugiperda*. *Agronomy* 12, 2704. <https://doi.org/10.3390/agronomy12112704>

- Abdalla, Z.F., El-Ramady, H., 2022: Applications and challenges of smart farming for developing sustainable agriculture. *Environment, Biodiversity and Soil Security* 6, 81–90. <https://doi.org/10.21608/JENVBS.2022.135889.1175>
- Adan, M., H.E. Tonnang, C.E. Kassa, K. Greve, C. Borgemeister, G. Goergen, 2024: Combining temperature-dependent life table data into Insect Life Cycle Model to forecast fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) distribution in maize agro-ecological zones in Africa. *Plos one* 19, e0299154. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0299154>
- Adégbola, Y.P., A. Aloukoutou, C.L. Hinnou, B. Dedewanou, A. Arouna, A. Adekambi, L. Oloukoï, 2011: Analyse de la performance des chaînes de valeurs ajoutées de la filière maïs au Bénin. Rapport provisoire. Programme Analyse de la Politique Agricole (PAPA). 87p.
- Adeye, A.T., R. Sikirou, S. Boukari, M. Aboudou, G. Amagnide, B.S. Idrissou, M. Drissou-Toure, B. Zocli, 2018: Protection de la culture de maïs contre *Spodoptera frugiperda* avec les insecticides plantneem, lambda 25 EC et viper 46 EC et réduction de pertes de rendement au Bénin. *Journal de la Recherche Scientifique de l'Université de Lomé* 20, 53–65.
- Adjaoko, A.M., A. Adandonon, G.T. Yotto, 2021: Fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera, Noctuidae): State of knowledge and control methods. *African Journal of Agricultural Research* 17, 1237–1248. <https://doi.org/10.5897/AJAR2021.15666>
- Agboyi, L.K., G. Goergen, P. Beseh, S.A. Mensah, V.A. Clotley, R. Glikpo, A. Buddie, G. Cafà, L. Offord, R. Day, 2020: Parasitoid complex of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, in Ghana and Benin. *Insects* 11, 68. <https://doi.org/10.3390/insects11020068>
- Ahissou, B.R., W.M. Sawadogo, A.H. Bokonon-Ganta, I. Somda, M.-P. Kestemont, F.J. Verheggen, 2021a-9-28: Baseline Toxicity Data of Different Insecticides against the Fall Armyworm *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) and Control Failure Likelihood Estimation in Burkina Faso. *African Entomology* 29. <https://doi.org/10.4001/003.029.0435>
- Aniwanou, C.T., A.A. Sinzogan, J.M. Deguenon, R. Sikirou, D.A. Stewart, A. Ahanchede, 2020: Bio-efficacy of diatomaceous earth, household soaps, and neem oil against *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) larvae in Benin. *Insects* 12, 18. <https://doi.org/10.3390/insects12010018>
- Ansari, M.S., M.A. Moraiet, S. Ahmad, 2014: Insecticides: Impact on the Environment and Human Health, in: Malik, A., Grohmann, E., Akhtar, R. (Eds.), *Environmental Deterioration and Human Health*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 99–123. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7890-0_6
- Badenhausser, I., N. Gross, V. Mornet, M. Roncoroni, A. Saintilan, A. Rusch, 2020: Increasing amount and quality of green infrastructures at different scales promotes biological control in agricultural landscapes. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 290, 106735.
- Bates, D., M. Maechler, B. Bolker, S. Walker, 2015: Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1), 1-48. doi:10.18637/jss.v067.i01
- Berg, J., H. Plessis, 2024: Managing the Invasive Fall Armyworm in the Large- and Small-scale Maize Farming Landscapes of East and Southern Africa, in: Brewer, M.J., Hein, G.L. (Eds.), *Arthropod Management and Landscape Considerations in Large-Scale Agroecosystems*. CABI, GB, pp. 78–103. <https://doi.org/10.1079/9781800622777.0004>
- Bonfanti, J., J. Langridge, D. Beillouin, 2023: A global database to catalogue the impacts of agricultural management practices on terrestrial biodiversity. *Data in brief* 50, 109555–109555. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2023.109555>
- Bot, A., Benites, J., 2005: The importance of soil organic matter: Key to drought-resistant soil and sustained food production. Food & Agriculture Org.
- Boukari, S.A., A. Sinzogan, J.M. Deguenon, D.A.L. Bounonwa, E.L. Sossa, G.L. Amadji, 2023: Effect of soil type and burial depth on the viability of *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) pupae in Benin. *Trop. Agric.* 100, 231–249.
- Brooks, M.E., K. Kristensen, K.J. van Benthem, A. Magnusson, C.W. Berg, A. Nielsen, H.J. Skaug, M. Maechler, B.M. Bolker, 2017: glmmTMB balances speed and flexibility among packages for zero-inflated generalized linear mixed modeling. *R J.* 9(2), 378–400. <https://doi.org/10.32614/RJ-2017-066>
- Bruce, D., E.M. Silva, J.C. Dawson, 2022: Cover crop-based reduced tillage management impacts organic squash yield, pest pressure, and management time. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 6. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.991463>
- Christensen, R., 2023: *_ordinal-Regression Models for Ordinal Data_*. R package version 2023.12-4.1, <https://CRAN.R-project.org/package=ordinal>
- Clarkson, J., J.R. Borah, F. Baudron, T.C. Sunderland, 2022: Forest proximity positively affects natural enemy mediated control of fall armyworm in Southern Africa. *Frontiers in Forests and Global Change* 5, 781574. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.781574>
- Cokola, M.C., R. Van Den Bussche, G. Noël, N. Kouanda, F. Sèye, B.B. Yarou, R. Caparros Megido, S.M. Bayendi Loudit, E. Lonpi Tipi, B. Michel, F. Francis, 2023: Managing fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae): Experience from smallholder farmers in central and western Africa. *Food and Energy Security* 12, e491. <https://doi.org/10.1002/fes3.491>
- Cong, S., 2021: Factors affecting agriculture. *Journal of Plant Biology and Agriculture Sciences* 3, 9.

- Dassou, A.G., P.L. Yemadje, M.N. Atchade, L.C. Gohouede, C.D. Aboua, S. Boulakia, O. Balarabe, E. Sekloka, P. Tiltonell, 2024: Conservation agriculture compared to conventional tillage improves the trade-off between ground-dwelling arthropod trophic groups for natural pest regulation in cotton cropping systems. *GLOBAL ECOLOGY AND CONSERVATION* 55, 3223–3223. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2024.e03223>
- Davis, F.M., G.T. Baker, W.P. Williams, 1995: Anatomical characteristics of maize resistant to leaf feeding by southwestern corn borer (Lepidoptera: Pyralidae) and fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae).
- Day, R., P. Abrahams, M. Bateman, T. Beale, V. Clotley, M. Cock, Y. Colmenarez, N. Corniani, R. Early, J. Godwin, J. Gomez, P.G. Moreno, S.T. Murphy, B. Opong-Mensah, N. Phiri, C. Pratt, S. Silvestri, A. Witt, 2017: Fall Armyworm: Impacts and Implications for Africa. *Outlooks on Pest Management* 28, 196–201. https://doi.org/10.1564/v28_oct_02
- Depalo, L., G. Burgio, P. Von Fragstein, H.L. Kristensen, M. Bavec, M. Robačar, G. Campanelli, S. Canali, 2017: Impact of living mulch on arthropod fauna: analysis of pest and beneficial dynamics on organic cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. botrytis) in different European scenarios. *Renewable Agriculture and Food Systems* 32, 240–247. <https://doi.org/10.1017/S1742170516000156>
- Dias, A.S., R.C. Marucci, S.M. Mendes, S.G. Moreira, O.G. Araújo, C. dos Santos, T.A. Barbosa, 2016: Bioecology of *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1757) in different cover crops.
- DGFRN, 2017 : Profils forestiers des Communes du Bénin. Programme Forestier National (PFN). Inventaire Forestier National 2007. Direction Générale des Forêts et Ressources Naturelles (DGFRN). Cotonou: Bénin; 131-132.
- Diogo, R.V.C., J.A. Dossou, F. Amadji, P.O. Bolo, J.M. Kihara, M.G. Gbedjissokpa, R. van der Hoek, M. Kinyua, J. Mukiri, R. Sommer, 2021 : Les engrais verts et les cultures de couverture au Bénin-informations tirées de la revue littéraire, de l'évaluation agronomique et de la modélisation de la durabilité des systèmes de culture.
- Djohy, G.L., A.H. Edja, G.S. Nouatin, 2015 : Variation climatique et production vivrière: la culture du maïs dans le système agricole péri-urbain de la commune de Parakou au Nord-Benin. *Afrique Science: Revue internationale des sciences et technologies* 11, 183–194.
- Du, Y., X. Chen, J. Wang, X. Yang, X. Zhou, Q. Zhang, 2020: Insights into insecticide resistance mechanisms in invasive insects. *Front. Physiol.* 13, 1112278.
- Dumanski, J., R. Peiretti, J.R. Benites, D. McGarry, C. Pieri, 2006: The paradigm of conservation agriculture. *Proceedings of world association of soil and water conservation* 1, 58–64.
- Fotso Kuate, A., R. Hanna, A.R. Doumtsop Fotio, A.F. Abang, S.N. Nanga, S. Ngatat, M. Tindo, C. Masso, R. Ndemah, C. Suh, 2019: *Spodoptera frugiperda* Smith (Lepidoptera: Noctuidae) in Cameroon: Case study on its distribution, damage, pesticide use, genetic differentiation and host plants. *PloS one* 14, e0215749. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0215749>
- Francis, C., G. Lieblein, S. Gliessman, T.A. Breland, N. Creamer, R. Harwood, L. Salomonsson, J. Helenius, D. Rickerl, R. Salvador, M. Wiedenhoef, S. Simmons, P. Allen, M. Altieri, C. Flora, R. Poincelot, 2003: Agroecology: The Ecology of Food Systems. *Journal of Sustainable Agriculture* 22, 99–118. https://doi.org/10.1300/J064v22n03_10
- Gomes, C.E., A.E. Barbosa, L.L. Macedo, J.C. Pitanga, F.T. Moura, A.S. Oliveira, R.M. Moura, A.F. Queiroz, F.P. Macedo, L.B. Andrade, 2005: Effect of trypsin inhibitor from *Crotalaria pallida* seeds on *Callosobruchus maculatus* (cowpea weevil) and *Ceratitits capitata* (fruit fly). *Plant physiology and biochemistry* 43, 1095–1102.
- Hailu, G., S. Niassy, K.R. Zeyaur, N. Ochatum, S. Subramanian, 2018: Maize–Legume Intercropping and Push–Pull for Management of Fall Armyworm, Stemborers, and Striga in Uganda. *Agronomy Journal* 110, 2513–2522. <https://doi.org/10.2134/agronj2018.02.0110>.
- Harrison, R.D., C. Thierfelder, F. Baudron, P. Chinwada, C. Midega, U. Schaffner, J. van den Berg, 2019: Agro-ecological options for fall armyworm (*Spodoptera frugiperda* JE Smith) management: Providing low-cost, smallholder friendly solutions to an invasive pest. *JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT* 243, 318–330. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.05.011>
- Hartig, F., L. Lohse, M. de S. Ieite, 2024: DHARMA: Residual Diagnostics for Hierarchical (Multi-Level / Mixed) Regression Models. *DHARMA* <https://doi.org/10.32614/CRAN.package.DHARMA>, R package version 0.4.7, <https://CRAN.R-project.org/package=DHARMA>.
- Hinds, J., C.R. Hooks, 2013: Population dynamics of arthropods in a sunn-hemp zucchini interplanting system. *Crop Protection* 53, 6–12.
- Houngbo, S., A. Zannou, A. Aoudji, H.C. Sossou, A. Sinzogan, R. Sikirou, E. Zossou, H.S. Totin Vodounon, A. Adomou, A. Ahanchédé, 2020: Farmers' knowledge and management practices of fall armyworm, *spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) in Benin, West Africa. *Agric.* 10, 1–15. <https://doi.org/10.3390/agriculture10100430>
- Kenis, M., H. du Plessis, J. Van den Berg, M.N. Ba, G. Goergen, K.E. Kwadjo, I. Baoua, T. Tefera, A. Buddie, G. Cafà, 2019: *Telenomus remus*, a candidate parasitoid for the biological control of *Spodoptera frugiperda* in Africa, is already present on the continent. *Insects* 10, 92.

- Koffi, D., R. Kyerematen, M. Osaë, K. Amouzou, V.Y. Eziah, 2022: Assessment of *Bacillus thuringiensis* and emamectin benzoate on the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) severity on maize under farmers' fields in Ghana. *Int J Trop Insect Sci* 42, 1619–1626. <https://doi.org/10.1007/s42690-021-00683-5>
- Kosewska, A., T. Skalski, M. Nietupski, 2014: Effect of conventional and non-inversion tillage systems on the abundance and some life history traits of carabid beetles (Coleoptera: Carabidae) in winter triticale fields. <https://doi.org/10.14411/eje.2014.078>
- Kumar, R. M., B.-G. Gadratagi, V. Paramesh, P. Kumar, Y. Madivalar, N. Narayanappa, F. Ullah, 2022: Sustainable Management of Invasive Fall Armyworm, *Spodoptera frugiperda*. *Agronomy*, 12(9), 2150. <https://doi.org/10.3390/agronomy12092150>. <https://www.mdpi.com/2073-4395/12/9/2150>.
- Lanmandjekpogni, M. P., F. de Paule Codo, B. K. Yao, 2019. Pollution des eaux de surface par les éléments nutritifs et lien avec l'urbanisation à l'échelle des bassins versants de l'Okpara à Parakou (Bénin). *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 27(1), 33-42.
- Lenth, R., J. Piaskowski, 2025: emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means. doi:10.32614/CRAN.package.emmeans, <https://doi.org/10.32614/CRAN.package.emmeans>, R package version 2.0.1, <https://CRAN.R-project.org/package=emmeans>
- Lopes, T., S. Hatt, Q. Xu, J. Chen, Y. Liu, F. Francis, 2016: Wheat (*Triticum aestivum* L.)-based intercropping systems for biological pest control. *Pest Management Science* 72, 2193–2202. <https://doi.org/10.1002/ps.4332>
- MAEP, 2025: DSA- Bienvenue à la DSA [WWW Document]. URL <https://dsa.agriculture.gouv.bj/statistics/vegetale> (accessed 12.20.25).
- Mahé, M., B. Dingli, F. Savy, D. Bouvier, F. Tergou, A. Charrier, 2017 : Agriculteurs : quels profils pour quels métiers ? Faits et tendances. Centre d'études et de prospective. no 53, Juillet, 9 p. <https://agriculture.gouv.fr/telecharger/>
- Manandhar, R., C.R. Hooks, M.G. Wright, 2009: Influence of cover crop and intercrop systems on *Bemisia argentifolli* (Hemiptera: Aleyrodidae) infestation and associated squash silverleaf disorder in zucchini. *Environmental Entomology* 38, 442–449.
- Manandhar, R., M.G. Wright, 2016: Effects of interplanting flowering plants on the biological control of corn earworm (Lepidoptera: Noctuidae) and thrips (Thysanoptera: Thripidae) in sweet corn. *Journal of Economic Entomology* 109, 113–119. <https://doi.org/10.1093/jee/tov306>
- Marc, A.A., D.R. Patient, Y. Ibouaïma, 2024: Screening and agricultural management practices for *Spodoptera frugiperda* (JE Smith, 1797)(Lepidoptera: Noctuidae) in Central Benin (West Africa). *African Scientific Journal* 3, 231–231. <https://doi.org/10.5281/zenodo.12514277>
- McGillycuddy, M., G. Popovic, B.M. Bolker, D.I. Warton, 2025: Parsimoniously fitting large multivariate random effects in glmmTMB. *Journal of Statistical Software* 112, 1–19. <https://doi.org/10.18637/jss.v112.i01>
- Meena, R.S., R. Lal, 2018: Legumes and Sustainable Use of Soils, in: Meena, R.S., Das, A., Yadav, G.S., Lal, R. (Eds.), *Legumes for Soil Health and Sustainable Management*. Springer Singapore, Singapore, pp. 1–31. https://doi.org/10.1007/978-981-13-0253-4_1
- Menezes, L., W. Mozena Leandro, J. Patricio de Oliveira Júnior, A. Cunha de Barcellos Ferreira, J. das Graças Santana, R. Gonçalves Barros, 2009: Produção de fitomassa de diferentes espécies, isoladas e consorciadas, com potencial de utilização para cobertura do solo.
- Mlambo, S., M. Mubayiwa, V.L. Tarusikirwa, H. Machekano, B.M. Mvumi, C. Nyamukondiwa, 2024: The fall armyworm and larger grain borer pest invasions in Africa: drivers, impacts and implications for food systems. *Biology* 13, 160.
- O'Rourke, M.E., M. Liebman, M.E. Rice, 2008: Ground beetle (Coleoptera: Carabidae) assemblages in conventional and diversified crop rotation systems. *Environmental Entomology* 37, 121–130.
- Ouyang, F., W. Su, Y. Zhang, X. Liu, J. Su, Q. Zhang, X. Men, Q. Ju, F. Ge, 2020: Ecological control service of the predatory natural enemy and its maintaining mechanism in rotation-intercropping ecosystem via wheat-maize-cotton. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 301, 107024.
- Payton, L., 2021: Saving our soils. Perin, A., R.H.S. Santos, S. Urquiaga, J.G.M. Guerra, P.R. Cecon, 2004: Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado.
- PDC (Plan de Développement Communal de Parakou), 2004 : Plan de Développement Communal de Parakou 2004-2009, Mairie de Parakou, Bénin, p. 92.
- PDC (Plan de Développement Communal de Parakou) 2018 : Plan de Développement Communal de Parakou 2019-2023, Mairie de Parakou, Bénin, p. 19-23.
- Poutouli, W., P. Silvie, H.-P. Aberlenc, W. Wi, H. Hen, 2011 : Hétéroptères phytophages et prédateurs d'Afrique de l'Ouest.
- Prasanna, B.M., J.E. Huesing, R. Eddy, V.M. Peschke, 2018: Fall armyworm in Africa: a guide for integrated pest management.

- Pretorius, R.J., G.L. Hein, E.E. Blankenship, F.F. Purrington, R.G. Wilson, J.D. Bradshaw, 2018: Comparing the effects of two tillage operations on beneficial epigeal arthropod communities and their associated ecosystem services in sugar beets. *Journal of Economic Entomology* 111, 2617–2631.
- Quintanilla-Tornel, M.A., K.-H. Wang, J. Tavares, C.R. Hooks, 2016: Effects of mulching on above and below ground pests and beneficials in a green onion agroecosystem. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 224, 75–85.
- R Core Team, 2025: R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- Rech, C., L.P. Ribeiro, J.M.S. Bento, C.A. Pott, C. Nardi, 2024: Monocrotaline presence in the *Crotalaria* (Fabaceae) plant genus and its influence on arthropods in agroecosystems. *Braz. J. Biol.* 84, e256916. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.256916>
- Rendon, D., K.A. Hamby, A.L. Arsenault-Benoit, C.M. Taylor, R.K. Evans, C.R. Roubos, A.A. Sial, M. Rogers, A. Petran, S. Van Timmeren, P. Fanning, R. Isaacs, V. Walton, 2020: Mulching as a cultural control strategy for *Drosophila suzukii* in blueberry. *Pest Management Science* 76, 55–66. <https://doi.org/10.1002/ps.5512>
- Rivers, A., C. Mullen, J. Wallace, M. Barbercheck, 2017: Cover crop-based reduced tillage system influences Carabidae (Coleoptera) activity, diversity and trophic group during transition to organic production. *Renewable Agriculture and Food Systems* 32, 538–551.
- Rowen, E.K., K.H. Regan, M.E. Barbercheck, J.F. Tooker, 2020: Is tillage beneficial or detrimental for insect and slug management? A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 294, 106849. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.106849>
- Sanon, A., P. De Bauw, E. Lehmann, L. Muriuki, I. Compaoré, M.R. Sanou, T. Lopes, 2025: Development of viable Integrated Pest Management (IPM) strategies to control fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) on maize. *Crop Protection* 197, 107359. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2025.107359>
- Seguy, L., O. Husson, H. Charpentier, S. Bouzinac, R. Michellon, A. Chabanne, S. Boulakia, F. Tivet, K. Naudin, F. Enjalric, I. Ramaroson, Rakotodramanana, 2009: Principes et fonctionnement des écosystèmes cultivés en semis direct sur couverture végétale permanente.
- Skendžić, S., M. Zovko, I.P. Živković, V. Lešić, D. Lemić, 2021: The impact of climate change on agricultural insect pests. *Insects* 2021; 12: 440.
- Soratto, R.P., C.A.C. Crusciol, C.H.M. da Costa, J. Ferrari Neto, G.S.A. Castro, 2012: Produção, decomposição e ciclagem de nutrientes em resíduos de crotalaria e milheto, cultivados solteiros e consorciados. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 47, 1462–1470.
- Tambo J. A., Kirui, O. K., 2021: Yield effects of conservation farming practices under fall armyworm stress: The case of Zambia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Volume 321, 1 November, 107618. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107618>
- Tamburini, G., S. De Simone, M. Sigura, F. Boscutti, L. Marini, 2016: Conservation tillage mitigates the negative effect of landscape simplification on biological control. *Journal of Applied Ecology* 53, 233–241. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12544>
- Tavares, W.S., I. Cruz, R.B. Silva, M.L.C. Figueiredo, F.S. Ramalho, J.E. Serrão, J.C. Zanuncio, 2011: Soil organisms associated to the weed suppressant *Crotalaria juncea* (Fabaceae) and its importance as a refuge for natural enemies. *Planta Daninha* 29, 473–479.
- Thierfelder, C., S. Niassy, C. Midega, S. Sevgan, J. Van den Berg, B.M. Prasanna, F. Baudron, R. Harrison, 2018: Low-cost agronomic practices and landscape management approaches to control FAW.
- Toguebaye, M.B.S., D.D. Bordat, D.M.S. Mbaye, M.M. Sembene, M.C. Rouland-Lefevre, D.M. Sarr, J.-Y. Rey, M.K. Diarra, 2016: Relations entre le fonctionnement des agrosystèmes à base de manguiers et les dégâts des termites (Termitidae: Isoptera) dans les régions de Thiès et de Dakar, au Sénégal.
- Trisnawati, I., A. Azis, 2017: The effectiveness of habitat modification schemes for enhancing beneficial insects: Assessing the importance of trap cropping management approach, in: AIP Conference Proceedings. AIP Publishing LLC, p. 020038.
- Venzon, M., M.C. Rosado, D.E. Euzébio, B. Souza, J.H. Schoederer, 2006: Suitability of leguminous cover crop pollens as food source for the green lacewing *Chrysoperla externa* (Hagen)(Neuroptera: Chrysopidae). *Neotropical Entomology* 35, 371–376.
- Wezel, A., B.G. Herren, R.B. Kerr, E. Barrios, A.L.R. Gonçalves, F. Sinclair, 2020: Agroecological principles and elements and their implications for transitioning to sustainable food systems. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 40, 40. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00646-z>
- Wyckhuys, K.A.G., M. Gonzalez-Chang, B. Lavandero, Y. Gc, B. Hadi, 2023: Legume integration for biological control deserves a firmer scientific base. *OUTLOOK ON AGRICULTURE* 52, 281–293. <https://doi.org/10.1177/00307270231194086>
- Yallou, C.G., K. Aihou, A. Adjanohoun, M. Toukourou, A. Sanni, D. Aly, 2010: Fiche Technique Mais | PDF | Mais | Charrue [WWW Document]. Scribd. URL <https://fr.scribd.com/document/811649315/Fiche-technique-Mais> (accessed 1.29.26).

Yu, S.J., S.N. Nguyen, G.E. Abo-Elghar, 2003: Biochemical characteristics of insecticide resistance in the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (JE Smith). *Pesticide biochemistry and physiology* 77, 1–11.

Zhou, W., X. Zhou, L. Cai, Q. Jiang, R. Zhang, 2023: Temporal and Habitat Dynamics of Soil Fungal Diversity in Gravel-Sand Mulching Watermelon Fields in the Semi-Arid Loess Plateau of China. *Microbiol Spectr* 11, e03150-22.

13 Annex.

Table 6. Mixed-effect model results for larval infestation incidence, larval abundance and severity degree across cropping systems and treatment over time.

Predictors	Infestation incidence (GLMM)			Number of larvae (NB GLMM)			Severity degree (CLMM)		
	OR	CI	p	IRR	CI	p	OR	CI	p
(Intercept)	4.19	2.04 - 8.60	<0.001	1.08	0.71 - 1.63	0.727	--	--	--
0 1	--	--	--	--	--	--	0.26	0.16 - 0.44	<0.001
1 2	--	--	--	--	--	--	0.43	0.26 - 0.72	0.001
2 3	--	--	--	--	--	--	0.75	0.45 - 1.25	0.275
3 4	--	--	--	--	--	--	1.83	1.10 - 3.06	0.020
4 5	--	--	--	--	--	--	31.49	18.00 - 55.08	<0.001
system [CT2]	1.25	0.44 - 3.57	0.676	0.81	0.44 - 1.47	0.484	1.11	0.55 - 2.21	0.772
system [SD1]	0.21	0.08 - 0.53	0.001	0.33	0.17 - 0.66	0.002	0.26	0.13 - 0.53	<0.001
system [SD2]	0.19	0.08 - 0.50	0.001	0.51	0.27 - 0.96	0.038	0.18	0.09 - 0.37	<0.001
treatment [T]	1.61	0.58 - 4.51	0.363	0.93	0.61 - 1.43	0.753	0.86	0.50 - 1.46	0.567
time [27]	1.92	0.69 - 5.33	0.211	0.97	0.65 - 1.45	0.880	2.75	1.66 - 4.57	<0.001
time [34]	1.92	0.69 - 5.33	0.211	1.34	0.92 - 1.96	0.126	3.85	2.30 - 6.46	<0.001
time [41]	2.29	0.79 - 6.64	0.128	1.06	0.71 - 1.57	0.786	3.77	2.26 - 6.32	<0.001
time [48]	0.74	0.31 - 1.78	0.506	0.59	0.38 - 0.92	0.019	1.09	0.66 - 1.81	0.733
system [CT2] × treatment [T]	0.94	0.21 - 4.20	0.932	1.32	0.72 - 2.43	0.363	0.86	0.45 - 1.65	0.654
system [SD1] × treatment [T]	0.93	0.26 - 3.39	0.916	1.39	0.66 - 2.91	0.384	1.69	0.88 - 3.26	0.117
system [SD2] × treatment [T]	1.08	0.30 - 3.94	0.908	0.72	0.35 - 1.47	0.364	2.34	1.21 - 4.50	0.011
system [CT2] × time [27]	0.68	0.16 - 2.88	0.601	1.14	0.64 - 2.04	0.652	1.29	0.68 - 2.43	0.436
system [SD1] × time [27]	1.54	0.43 - 5.51	0.506	2.89	1.49 - 5.61	0.002	1.61	0.84 - 3.10	0.155

Predictors	Infestation incidence (GLMM)			Number of larvae (NB GLMM)			Severity degree (CLMM)		
	OR	CI	p	IRR	CI	p	OR	CI	p
system [SD2] × time [27]	2.94	0.79 - 11.02	0.109	1.82	0.99 - 3.36	0.056	2.81	1.46 - 5.39	0.002
system [CT2] × time [34]	0.95	0.21 - 4.23	0.943	0.85	0.49 - 1.50	0.582	0.82	0.44 - 1.55	0.546
system [SD1] × time [34]	2.22	0.60 - 8.13	0.230	1.50	0.77 - 2.93	0.234	0.93	0.49 - 1.77	0.816
system [SD2] × time [34]	1.80	0.50 - 6.48	0.367	0.82	0.44 - 1.53	0.524	1.47	0.76 - 2.81	0.250
system [CT2] × time [41]	0.50	0.12 - 2.13	0.346	0.83	0.46 - 1.49	0.527	0.58	0.30 - 1.10	0.097
system [SD1] × time [41]	1.10	0.30 - 4.05	0.886	1.17	0.57 - 2.40	0.665	1.25	0.65 - 2.41	0.503
system [SD2] × time [41]	1.01	0.28 - 3.71	0.985	0.79	0.41 - 1.54	0.493	1.40	0.72 - 2.71	0.319
system [CT2] × time [48]	0.97	0.27 - 3.44	0.956	1.18	0.62 - 2.24	0.615	0.95	0.51 - 1.80	0.885
system [SD1] × time [48]	1.44	0.46 - 4.46	0.528	2.43	1.16 - 5.05	0.018	1.30	0.67 - 2.50	0.436
system [SD2] × time [48]	1.65	0.53 - 5.12	0.385	1.30	0.64 - 2.62	0.468	2.23	1.16 - 4.29	0.016
treatment [T] × time [27]	0.08	0.02 - 0.30	<0.001	0.32	0.17 - 0.64	0.001	0.06	0.04 - 0.10	<0.001
treatment [T] × time [34]	0.17	0.04 - 0.68	0.012	0.72	0.41 - 1.25	0.245	0.18	0.12 - 0.29	<0.001
treatment [T] × time [41]	0.05	0.01 - 0.21	<0.001	0.19	0.09 - 0.41	<0.001	0.08	0.05 - 0.13	<0.001
treatment [T] × time [48]	0.14	0.04 - 0.50	0.002	0.74	0.38 - 1.44	0.377	0.29	0.18 - 0.46	<0.001
(system [CT2] × treatment [T]) × time [27]	1.09	0.16 - 7.68	0.928	0.79	0.30 - 2.07	0.625	--	--	--
(system [SD1] × treatment [T]) × time [27]	1.41	0.25 - 8.03	0.696	0.19	0.05 - 0.70	0.013	--	--	--
(system [SD2] × treatment [T]) × time [27]	0.92	0.16 - 5.38	0.926	1.04	0.35 - 3.04	0.946	--	--	--
(system [CT2] × treatment [T]) × time [34]	0.58	0.08 - 4.28	0.593	0.71	0.31 - 1.62	0.411	--	--	--
(system [SD1] × treatment [T]) × time [34]	0.75	0.13 - 4.34	0.748	0.77	0.30 - 2.00	0.594	--	--	--
(system [SD2] × treatment [T]) × time [34]	1.38	0.24 - 7.89	0.717	1.75	0.69 - 4.48	0.242	--	--	--
(system [CT2] × treatment [T]) × time [41]	1.12	0.16 - 7.99	0.911	1.41	0.50 - 4.00	0.520	--	--	--

Predictors	Infestation incidence (GLMM)			Number of larvae (NB GLMM)			Severity degree (CLMM)		
	OR	CI	p	IRR	CI	p	OR	CI	p
(system [SD1] × treatment [T]) × time [41]	2.84	0.49 - 16.43	0.243	0.88	0.24 - 3.27	0.847	--	--	--
(system [SD2] × treatment [T]) × time [41]	3.54	0.61 - 20.33	0.157	2.08	0.60 - 7.14	0.246	--	--	--
(system [CT2] × treatment [T]) × time [48]	0.88	0.14 - 5.51	0.895	1.10	0.44 - 2.78	0.837	--	--	--
(system [SD1] × treatment [T]) × time [48]	2.50	0.49 - 12.78	0.271	0.86	0.30 - 2.47	0.783	--	--	--
(system [SD2] × treatment [T]) × time [48]	3.80	0.75 - 19.35	0.108	2.25	0.80 - 6.31	0.124	--	--	--
Random Effects									
σ^2	0.22			1.05			3.29		
τ_{00} block:system:treatment	0.04			0.01			0.06		
τ_{00} block:system	0.07			0.09			0.07		
ICC	0.34			0.09			0.04		
N block	4			4			4		
N system	4			4			4		
N treatment	2			2			2		
Observations	160			2400			2400		
Marginal R ² / Conditional R ²	0.742 / 0.830			0.278 / 0.339			0.243 / 0.272		

OR = Odds Ratio, IRR = Incidence Rate Ratio, CI = Confidence Interval (95%), p = p-value, σ^2 = Residual variance; τ_{00} = Random intercept variance capturing how much the baseline outcome varies between grouping units (blocks, systems, treatments); ICC = Intraclass Correlation Coefficient