

Incidence et sévérité de la chenille légionnaire d'automne (*Spodoptera frugiperda* J.E Smith) sur la culture du maïs (*Zea mays* L.) en localité de Kivira (Nord-Kivu, RD Congo)

[Incidence and severity of the fall armyworm (*Spodoptera frugiperda* J.E Smith) on maize cultivation (*Zea mays* L.) in locality of Kivira (North-Kivu, DR Congo)]

Musubao Kapiri Moïse^{1,2}, Kambale Muhesi Eloge^{2,3}, Kambale Kataliko Moïse³, Kasereka Makombani Alex³, Kasereka Shangilia⁴, Kasereka Matina Charles⁴, and Mumbere Kirereka Richard³

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

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

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

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

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

ABSTRACT: The objective of this paper is to determine the incidence and severity of the FAW (*Spodoptera frugiperda* J.E Smith) and to study the influence of the cropping system on the degree of infestation of FAW in the cultivated corn fields in Kivira locality. To achieve these objectives, 60 corn fields including 20 fields at the 4 leaf stage, 20 fields at the 8 leaf stage and 20 fields at the flowering stage were visited. At the end of the analysis, the results show that the number of diseased plants was significantly higher for the 8 leaf stage with an average of 7.44 plants compared to the other two stages of corn development. Likewise, in corn fields at the 8 leaf stage, the number of FAW larvae in an area of 25 m² is much higher with an average of 9.79 larvae. As with the number of diseased plants and larvae, the study shows that the number of lesions per leaf at the 8-leaf stage is greater than the number of lesions per leaf at the other phenological stages. The incidence of Fall Armyworm varies significantly with the phenological stages and crop types associated with corn. The average incidence of FAW in fields at the 8 leaf stage is higher than in other phenological stages. The averages are 35.72%, 9.88% and 6.96% for the 8 leaf stage, the flowering stage and the 4 leaf stage respectively. The average severity index for the Fall Armyworm is 7.24%. The maximum value obtained is 22.53%. At the 8-leaf stage, the average severity of FAW is 17.57% compared to 2.32% for the flowering stage and 1.83% for the 4-leaf stage.

KEYWORDS: Incidence, severity, fall armyworm, maize (*Zea mays* L.) and locality of Kivira/ DR Congo.

RESUME: Cet article a pour objectif de déterminer l'incidence et la sévérité de la chenille légionnaire d'automne (*Spodoptera frugiperda* J.E Smith) et d'étudier l'influence du système de culture sur le degré d'infestation de la chenille légionnaire d'automne dans les champs de maïs cultivé à localité de Kivira en RD Congo. Pour atteindre ces objectifs, 60 champs de maïs dont 20 champs au stade 4 feuilles, 20 champs au stade 8 feuilles et 20 champs au stade de floraison ont été visités. A l'issue de l'analyse, les résultats montrent que le nombre des plants malades a été significativement supérieur pour le stade à 8 feuilles avec une moyenne de 7,44 plants par rapport aux deux autres stades de développement du maïs. De même, au niveau de champs de maïs au stade de 8 feuilles, le nombre de larves de la chenille légionnaire d'automne dans une aire de 25 m² est largement supérieur avec une moyenne de 9,79 larves. Comme pour le nombre de plants malades et de larves, l'étude montre

que le nombre de lésions par feuille au niveau du stade à 8 feuilles est supérieur au nombre de lésions par feuille au niveau des autres stades phénologiques. L'incidence de la chenille légionnaire d'automne varie d'une manière significative avec les stades phénologiques et les types de cultures associés au maïs (p -value<0,05). L'incidence moyenne de la chenille légionnaire d'automne dans les champs au stade de 8 feuilles est supérieure à celle des autres stades phénologiques. Les moyennes sont 35,72 %, 9,88 % et 6,96 % respectivement pour le stade à 8 feuilles, la floraison et le stade à 4 feuilles. L'indice de sévérité moyenne de la chenille légionnaire d'automne des champs est de 7,24 %. La valeur maximale obtenue est de 22,53 %. Au niveau du stade 8 feuilles, la moyenne de la sévérité de la chenille légionnaire d'automne est de 17,57 % contre 2,32 % pour le stade de floraison et 1,83 % pour le stade à 4 feuilles.

MOTS-CLEFS: Incidence, sévérité, chenille légionnaire d'automne, maïs (*Zea mays* L.) et localité de Kivira/ RD Congo.

1. INTRODUCTION

La chenille légionnaire d'automne (CLA), *Spodoptera frugiperda* (J.E Smith, 1797) est un insecte ravageur polyphage, originaire d'Amérique tropicale et subtropicale [1], [2], [3], [4], [5]. Identifié pour la première fois en Afrique Centrale et de l'Ouest [6]; d'abord au Nigéria en Janvier 2016; cet insecte est reparti dans presque 44 pays du continent africain à l'exception du Maghreb [7], [8], [9]. Cependant, sa présence est également signalée sur dans plusieurs pays du continent asiatique [10]; comme en Inde où elle a fait son apparition en mai 2018 et en Chine en fin 2018 [11] ainsi qu'en Australie via la Papouasie Nouvelle Guinée en 2020 [3], [12]. En raison de sa propagation naturelle rapide [13] et de sa capacité distinctive à causer des dommages généralisés sur plusieurs cultures, la chenille légionnaire d'automne menace sérieusement la sécurité alimentaire et nutritionnelle ainsi que la subsistance de centaines de millions des ménages agricoles du monde [2], [14], [4], [5].

Spodoptera frugiperda est un insecte ravageur polyphage qui attaque principalement les familles de *Poaceae*, *Malvaceae*, *Fabaceae*, *Brassicaceae*, *Solanaceae*, *Amyryllidaceae* et *Amaranthaceae* [24]. Plus de 80 cultures de différentes espèces sont attaquées causant des dégâts à des céréales d'importance économique telles que le maïs, le riz, le mil, le sorgho et la canne à sucre, mais aussi aux cultures maraîchères (choux, betterave, oignon, tomate, pomme de terre), l'arachide, le soja, les herbes de pâturage et au coton [15], [2], [7], [9], [16], [12]. Selon la référence [17] soutenue par la référence [8] indiquent que la chenille légionnaire d'automne a une certaine préférence pour le maïs; principal aliment de base de la population d'Afrique subsaharienne [18], [23]. Or cette céréale occupe une place importante dans la lutte contre l'insécurité alimentaire.

En effet, le maïs (*Zea mays* L.) est la plante la plus cultivée au monde et la première céréale produite devant le blé [19]. Environ 75 pays situés tant dans les pays industrialisés que dans les pays en voie de développement, cultivent chacun au moins 100.000 hectares de maïs soit un total de 140 millions d'hectares produisant 600 millions de tonnes de grains de maïs par an qui sont évaluées à 65 milliards de dollars américains annuellement en se basant sur le prix international de 108 dollars américains par tonne. Il y a environ 200 millions de fermiers cultivant du maïs dans le monde, dont 98 % habitent dans les pays en voie de développement; 75 % en Asie (105 millions dans la Chine seule), entre 15 et 20 % en Afrique et 5 % en Amérique Latine [20]. Le rendement moyen de 5,5 tonnes par ha est de loin supérieur à celui du blé et du riz. En ce qui concerne la consommation humaine au Mexique ou en Afrique du Sud par exemple, les chiffres peuvent atteindre 5 à plus de 10 kg par an par personne de maïs consommé [21].

Le maïs est la céréale la plus énergétique, par ses atouts nutritifs (richesse en amidon et présence de protéines et de minéraux) et économiques (culture simple à produire, à récolter et à stocker) [19] bien qu'entre 1982 et 2007, la production globale de céréales ait été multipliée par 3 en Afrique sub-saharienne, où la population a plus que doublé durant la même période. Cette hausse de la production provient essentiellement de l'expansion des surfaces cultivées, sans augmentation des rendements. Par ailleurs, les pertes mondiales de récolte dues aux bioagresseurs ont été estimées en 2006 à 31% pour le maïs [22]. Les pertes de rendement du maïs causées par la chenille légionnaire d'automne dans diverses régions étaient estimés entre 30 et 70 % [15] lorsque 55 à 100 % des plants de maïs sont infectés [25], [26], et certaines régions ont même subi des pertes totales de rendement en maïs, ce qui constitue une grande menace pour la sécurité alimentaire en Afrique [27] et dans d'autres régions de l'Asie occidentale comme le Yémen, le Bangladesh, la Chine et Inde [28], [13], [29]. Certes, en Afrique, les infestations de la CLA se produisent de manière sporadique dans de nombreuses zones de production de maïs, c'est-à-dire que des populations importantes du ravageur se retrouvent dans les champs et provoquent des dommages [30]. D'après une note d'information publiée par le Centre International pour l'Agriculture et les Sciences Biologiques (CABI) en septembre 2017, en l'absence de méthodes de lutte adéquates, la chenille légionnaire d'automne peut provoquer des pertes de rendement allant de 8,3 à 20,6 millions de tonnes par an, dans seulement 12 des pays africains producteurs de maïs [14], [5]. Cela représente

une proportion de 21 à 53% de la production annuelle moyenne de maïs sur une période de trois ans dans ces pays [15]. La valeur de ces pertes a été estimée entre 2,48 et 6,19 milliards de dollars américains [14].

La République Démocratique du Congo reste aussi confrontée à des attaques de la chenille légionnaire d'automne alors que le maïs est la principale céréale produite [7]. Avec une production brute estimée à environ 2,4 millions tonnes [31], le maïs constitue une source des revenus et occupe une place prépondérante dans l'alimentation des personnes tant au niveau des villes que des milieux ruraux [7]. Dans un tel contexte, le maïs pourrait constituer une alternative à cette situation d'insécurité alimentaire, car il constitue la deuxième culture vivrière après le manioc [21] dans ce pays où 9,8 millions de personnes sont en crise alimentaire et des moyens d'existence aigüé et 3,3 millions de personnes en situation d'urgence [32]. Malheureusement, les pertes sur la culture du maïs enregistrées en RD Congo peuvent atteindre environ 633.000 tonnes par an [15] alors que même les pertes de cette chenille sur les cultures maraîchères demeurent inconnues. Généralement, les rendements du maïs sont variables d'une région à une autre, mais la moyenne nationale pour la RD Congo varie de 0,8 à 1 tonne par hectare [33]. Dans ce pays, la production moyenne du maïs est passée de 2,8 millions tonnes (pour la période de 2013-2016) à 2,4 millions tonnes en 2018, soit une baisse d'environ -15% [31]. D'aucuns estiment que cette baisse de la production du maïs est due à la recrudescence des attaques de la chenille légionnaire d'automne d'autant plus que son ampleur reste mal évaluée depuis 2016 [27]. D'ailleurs la cellule d'Analyse des Indicateurs de Développement de la Primature avait estimé que 50 des 147 territoires administratifs de la RD Congo seraient affectés par cette chenille. Se basant sur une estimation approximative d'environ 500 hectares dévastés par territoire, la RD Congo pourrait donc voir plus de 25 000 hectares de maïs dévastés, représentant plus de 20 millions de dollars américains des pertes pour les populations locales. Au-delà des statistiques financières, ces pertes constituent un risque important en termes d'insécurité alimentaire et nutritionnelle car elles représentent également 250 millions de repas [27] surtout dans les provinces du Kasaï, du Nord-Kivu, du Sud-Kivu, du Maniema, du Haut-Katanga, du Tanganyika et de l'Ituri où en plus d'une situation sécuritaire précaire, ils hébergent la plupart des personnes atteintes d'insécurité alimentaire et nutritionnelle [32].

Dans ce contexte multi-contraint, il apparaît nécessaire d'accroître les recherches permettant *in fine* une intensification écologique des systèmes de production maximisant l'utilisation des ressources naturelles locales (biologiques et organiques existantes) [22] tout en réduisant les pertes de rendement causées par les bioagresseurs au champ et pendant les opérations post-récolte [34], [22]. Bien que l'usage de pesticides puisse s'avérer une solution à la fois pratique et efficace contre les organismes nuisibles, leur rentabilité ainsi que les risques pour l'environnement et la santé doivent être pris en compte dans les plans de lutte ([35], [16]). Il est par conséquent important de mettre en place une stratégie de gestion intégrée des organismes nuisibles [34] permettant de limiter l'usage des pesticides à des cas d'absolue nécessité. Or, la meilleure des stratégies commence inévitablement par une bonne connaissance des ennemis des cultures [35]. La connaissance de ces ennemis des cultures passe par les études d'incidence et de sévérité. Partant de la problématique susmentionnée, la présente étude cherche à répondre aux interrogations formulées de la manière suivante: (i) Quel est le niveau d'incidence et de sévérité de la chenille légionnaire d'automne dans les champs de maïs cultivé à Kivira ? (ii) Le système de culture a-t-il une influence sur le degré d'infestation des champs maïs cultivé par la chenille légionnaire d'automne à Kivira ? Cet article a pour objectif de déterminer le niveau d'incidence et de sévérité de la chenille légionnaire d'automne (*Spodoptera frugiperda*) dans les champs de maïs cultivé et d'étudier l'influence du système de culture sur le degré d'infestation de la chenille légionnaire d'automne dans les champs de maïs cultivé à Kivira.

2. MILIEU D'ETUDE ET METHODES

2.1. MILIEU D'ETUDE

La localité de Kivira se trouve en chefferie des Bashu, territoire de Beni à l'Est de la République Démocratique du Congo. En effet, le territoire de Beni connaît un climat équatorial du type guinéen qui s'étend sur les basses terres occidentales et septentrionales [36]. Ce climat varie fortement avec l'altitude et la situation géographique. La proximité de l'équateur détermine deux saisons pluvieuses et deux saisons relativement sèches de juin à août et de janvier à février [37]. La région de Beni étant en basse altitude enregistre une température de plus variant de 20 à 30 °C avec une moyenne de 25 °C [38]. Dans la localité de Kivira, le relief a des caractéristiques propres aux terres de basse altitude. Sur base des points GPS collectés, les champs de maïs investigués pour l'étude de l'incidence et la sévérité de la chenille légionnaire d'automne (*S. frugiperda*) sont situés entre 1183 et 1351 m d'altitude avec une moyenne de 1259 m. Les sols dérivés des divers substrats rocheux rencontrés dans la région de Beni sont principalement formés de matériaux kaoliniques. Le trait essentiel de ces sols est la présence de terres d'excellente qualité mais à forte sensibilité à l'érosion [27]. La référence [39] mentionne aussi l'existence des hygrokaolisols et des hygro-xérokaolisols. Ces hygro-kaolisols sont des sols sans dessèchement de profil. Ils ont un taux de saturation en cations généralement inférieur à 25 %. Par contre, les hygroxérokaolisols sont des sols avec dessèchement

temporaire du profil. Ils ont un taux de saturation généralement compris entre 30 et 50 %. Chimiquement, les sols de Beni en général, sont acides et pauvres en calcium sous forêt, mais deviennent basiques et riches en calcium sous culture. Les sols ont un taux de minéralisation de l'azote de 5 % et un pHeau oscillant entre 5,5 à 6,1. Bien qu'actuellement la région fait face à la déforestation galopante suite à la pratique de l'agriculture abattis brûlis, trois types de végétation caractérisent son paysage: (i) la forêt claire combinée à des savanes boisée et herbeuse dans la plaine de la Semuliki, (ii) la forêt montagnarde située dans le secteur du mont Ruwenzori et (iii) la forêt ombrophile et sempervirente typique du domaine forestier central de la cuvette congolaise [38]. L'économie locale est, en effet, historiquement soutenue par l'agriculture qui est essentiellement traditionnelle. Elle a gardé le même instinct; une agriculture rudimentaire qui est pratiquée sur des espaces étroits [40]. La figure 1 montre la localisation du milieu d'étude et quelques champs de maïs en fonction des stades phénologiques.

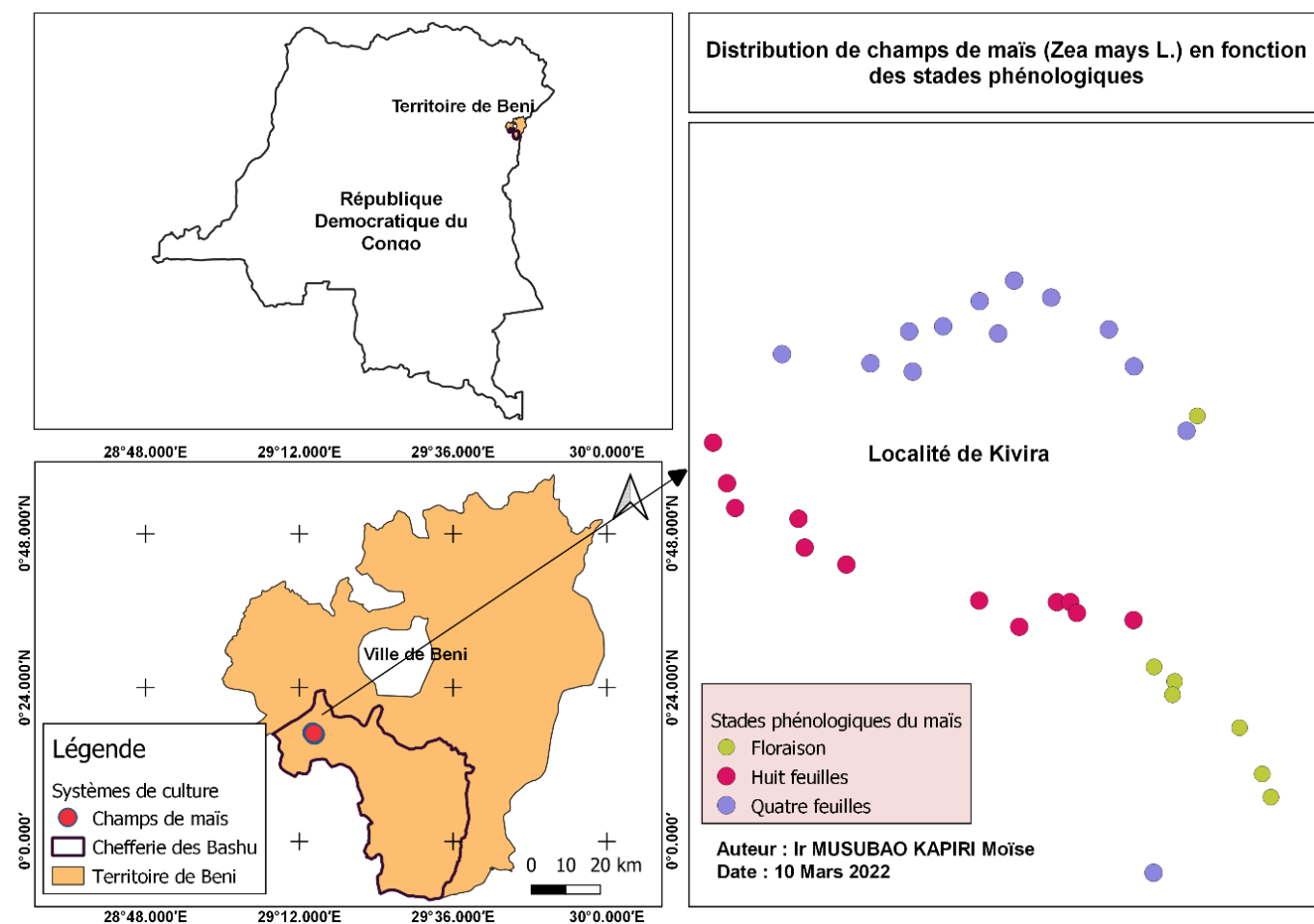


Fig. 1. Localisation du milieu d'étude

2.2. METHODES

2.2.1. MATÉRIELS

Le matériel biologique utilisé est constitué de plants symptomatiques et asymptomatiques de maïs (*Zea mays*) dans chaque champ en se basant sur le système de culture et le stade phénologique. Le matériel ayant servi à la prospection était composé d'un GPS Garmin pour relever les coordonnées géographiques des différents champs suivant les systèmes de culture. La superficie de chaque champ ainsi que la délimitation des 5 carrés/cadrats ont été obtenus par un pentadécamètre. Un appareil photographique numérique pour les prises de vue et enfin, un stylo pour les prises de notes.

2.2.2. CHOIX DES CHAMPS D'ÉTUDE

Les champs de maïs ont été d'une manière aléatoire autour d'un transect. Les champs situés de part et d'autre de ce transect ont été retenus. Le choix permet de tirer un échantillon des champs de maïs représentatif et susceptible de fournir une précision dans l'estimation des paramètres observés. Au cours de notre pré-enquête, tous les champs visités étaient cultivés en association maïs et cultures vivrières. C'est pourquoi, les champs de maïs ont été choisis en fonction de leur stade phénologique (4 feuilles, 8 feuilles, floraison). Dans la zone d'étude, les champs de maïs ont une superficie petite qui varie de 400 m² à 625 m² pour une moyenne de 473,3 m².

2.2.3. DISPOSITIF DE COLLECTE DES DONNÉES

La distribution des maladies et des ravageurs dans un champ est un facteur déterminant le choix du dispositif de collecte des données à adopter. Une maladie ou un ravageur peut avoir une distribution aléatoire, en agrégats ou régulière [41]. En effet, la chenille légionnaire d'automne présente une distribution spatiale en agrégats. Cette forme de distribution a des conséquences directes sur le choix du dispositif d'évaluation de l'incidence et de la sévérité [41]. Tenant compte de cette distribution spatiale de la chenille dans un champ, le nombre des plants de maïs, le nombre des plants malades, le nombre de feuilles malades total par plante, le nombre des feuilles attaqués, le nombre de larves, le nombre des lésions par feuille par plante ont été récoltés dans chaque champ suivant un dispositif à 5 cadrats ou en forme de W [14], [42]. Selon ce dispositif, quatre cadrats sont placés à chaque coin du champ et un cadrat est placé au centre du champ. En effet, la méthode à W ou de 5 cadrats permet d'appréhender au mieux la variabilité de l'attaque de la chenille légionnaire d'automne dans un champ cultivé [41], [24], [43]. La surface de chaque cadrat est de 5 m x 5 m soit 25 m².

2.2.4. PARAMÈTRES OBSERVÉS DANS LES CHAMPS

Dans les champs de maïs infectés par la chenille légionnaire d'automne, les paramètres observés dans chaque cadrat sont: le nombre des plants total, le nombre des plants infectés, le nombre des feuilles total par plant, le nombre des feuilles attaquées, le nombre des lésions par feuille par plant et le nombre de larves par cadrat. Le nombre des plants total et le nombre des plants infectés ont permis de calculer l'incidence de la chenille légionnaire sur le maïs. L'incidence (IC) est le rapport entre le nombre de plants malades et le nombre de plants total présent dans un cadrat [41]. Sa formule est la suivante:

$$IC = \frac{\text{Nombre des plants malades}}{\text{Nombre des plants total}} \times 100$$

L'incidence moyenne dans le champ a été obtenue par la somme des incidences dans chaque cadrat divisé par le nombre de cadrats (5).

Le nombre de feuilles total par plant et le nombre des feuilles attaqués par plant ont permis de calculer la sévérité de l'attaque de la chenille légionnaire d'automne suivant l'échelle d'évaluation de la sévérité de la chenille légionnaire d'automne du maïs est proposé par [44]. Cette échelle varie de 0 (plant sain) à 9 (plant sévèrement affecté); elle reste largement utilisée par nombreuses études d'évaluation de la gravité des infestations de la chenille légionnaire dans les champs ([45], [46], [24], [43], [47]). Cette échelle de [44] est la suivante:

- 0 = Aucun dommage visible aux feuilles;
- 1 = Dommages au sténopé uniquement sur les feuilles;
- 2 = Dommages au sténopé et au trou de tir à la feuille;
- 3 = petites lésions allongées (5–10 mm) sur 1–3 feuilles;
- 4 = lésions de taille moyenne (10–30 mm) sur 4–7 feuilles;
- 5 = Grandes lésions allongées (> 30 mm) ou petites portions mangées sur 3 à 5 feuilles;
- 6 = lésions allongées (> 30 mm) et grandes portions mangées sur 3 à 5 feuilles;
- 7 = lésions allongées (> 30 cm) et 50% des feuilles mangées;
- 8 = lésions allongées (30 cm) et de grandes portions mangées sur 70% des feuilles et
- 9 = La plupart des feuilles présentant de longues lésions et une défoliation complète ont été observées

L'indice de sévérité (IS) de la chenille légionnaire d'automne a été calculé par la formule suivante [48], [49]:

$$IS = \frac{\sum n \cdot b}{(N-1)T} \times 100$$

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

2.2.5. ANALYSE STATISTIQUE DE DONNÉES

Les méthodes d'analyse de données dépendent des variables et facteurs considérés. Pour les variables quantitatives (nombre des plants total, nombre de plants malades, nombre feuilles total, nombre des feuilles attaquées, nombre des larves par plante, nombre des lésions par feuille), la moyenne et les écartypes ont été calculés. Le calcul des pourcentages a été effectué pour les variables qualitatives (incidence et sévérité de la chenille). Les pourcentages moyens par champ ont été obtenues par la somme des pourcentages par cadrat divisé par le nombre de cadrats. L'inférence statistique nécessite le choix de variables à expliquer et les variables explicatives. Pour les données quantitatives, une analyse de la variance suivant la procédure GLM (Modèle Linéaire Généralisé) a été effectuée. Ainsi, une analyse de la variance a été faite d'abord en fonction de deux facteurs en considérant d'une part les facteurs Carré-Stades phénologiques et d'autre par les facteurs Carré-Types de cultures associées au maïs. Il s'agit en fait d'un modèle croisé mixte comme proposé par la référence [50].

Les différences entre les moyennes étaient considérées comme significatives quand la probabilité critique ou p-value est inférieure au seuil de significativité choisi (ici 0,05 ou 5 %). Quand les différences étaient significatives entre les systèmes de culture ou entre les stades phénologiques, la comparaison multiple des moyennes a été effectuée à l'aide du test de S-N-K (Student-Newman-Keuls). Les moyennes accompagnées d'une même lettre ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5 %. Les comparaisons multiples ont été rendu possible en utilisant les packages 'dplyr' [51], 'agricolae' [52] et 'ggplot2' [53]. L'analyse de la corrélation entre l'incidence de la CLA et le nombre de larves a été effectué et les coefficients de corrélation et de détermination ont été calculés. L'ensemble des analyses statistiques a été effectué par le logiciel R version 4.1.2 [54] en utilisant un éditeur de script ou *Integrated Development Environment* (IDE), le logiciel RStudio version 1.2.5003.

3. RESULTATS

3.1. NOMBRE DE PLANTS INFECTÉS PAR LA CLA

L'analyse de la variance montre des différences très hautement significatives entre le nombre de plants atteints de la CLA en fonction des stades phénologiques (ANOVA, p-value=2.10^{-16***}). L'effet du cadrat ainsi que l'interaction entre le stade phénologiques et le cadrat est non significatif (ANOVA, p-value=0,368; p-value=0,817 respectivement). L'analyse de la variance montre des différences très hautement significatives entre le nombre de plants atteints de la CLA en fonction des cultures en association avec le maïs (ANOVA, p-value=8,17.10^{-6***}).

De même, les effets du cadrat sur la variation du nombre des plants malades ainsi que l'interaction cadrat-système de culture ne sont pas significatifs (ANOVA, p-value=0,861; p-value=0,997 respectivement). La figure 2 montre la comparaison multiple des moyennes du nombre des plants atteints par la CLA en fonction des stades phénologiques et du système de culture par le test SNK.

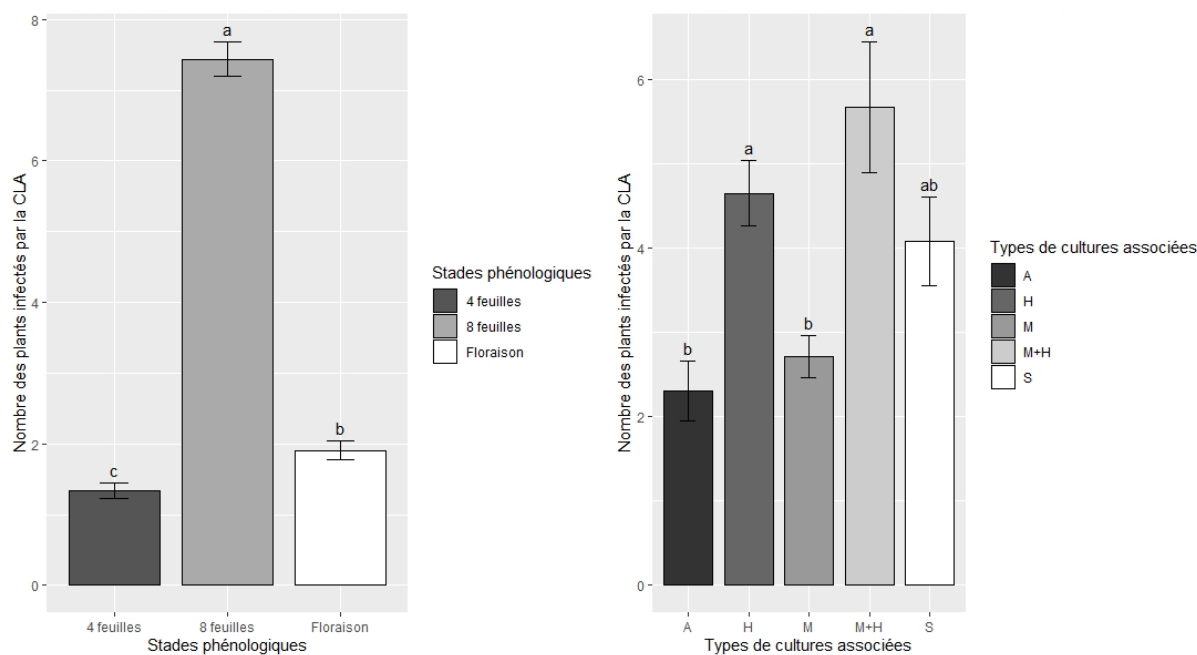


Fig. 2. Nombre des plants infectés par la CLA

Légende: M= Manioc, H= Haricot, S= Soja, A= Arachide. Les moyennes accompagnées d'une même lettre ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5 % du test SNK (Student Newman Keuls)

La figure 2 montre que le nombre des plants infectés a été significativement supérieur pour le stade à 8 feuilles avec une moyenne de $7,44 \pm 2,48$ plants contre $1,31 \pm 1,11$ plants pour le stade à 4 feuilles et $1,91 \pm 1,31$ plants pour le stade de floraison. Le nombre de plants malades dans les champs où le maïs est associé au manioc + haricot est en moyenne de $5,66 \pm 3,01$ plants malades contre $4,64 \pm 3,57$ plants malades pour l'association maïs-haricot. L'association maïs-soja a montré $4,07 \pm 3,32$ plants malades contre $2,71 \pm 2,91$ plants malades pour l'association maïs-manioc et $2,30 \pm 1,59$ plants malades pour l'association maïs-arachide.

3.2. NOMBRE DE FEUILLES MALADES PAR PLANTE

L'analyse de la variance montre des différences très hautement significatives entre le nombre de feuilles attaquées par plante en fonction des stades phénologiques du maïs (ANOVA, $p\text{-value} = 5,36 \cdot 10^{-16} ***$). Le facteur d'interaction cadrat-stades phénologiques est non significatif (ANOVA, $p\text{-value} = 0,519$). L'analyse de la variance montre des différences hautement significatives entre les moyennes du nombre de feuilles attaquées par plant en fonction des types de culture en association avec le maïs (ANOVA, $p\text{-value} = 0,0015 **$). L'effet du cadrat installé dans le champ ainsi que le facteur d'interaction cadrat-systèmes de culture n'ont pas été significatifs au seuil de 5 % (ANOVA, $p\text{-value} = 0,5414$; $p\text{-value} = 0,8094$ respectivement). La comparaison multiple de moyennes du nombre des feuilles malades en fonction de stades phénologiques est illustrée au niveau de la figure 3.

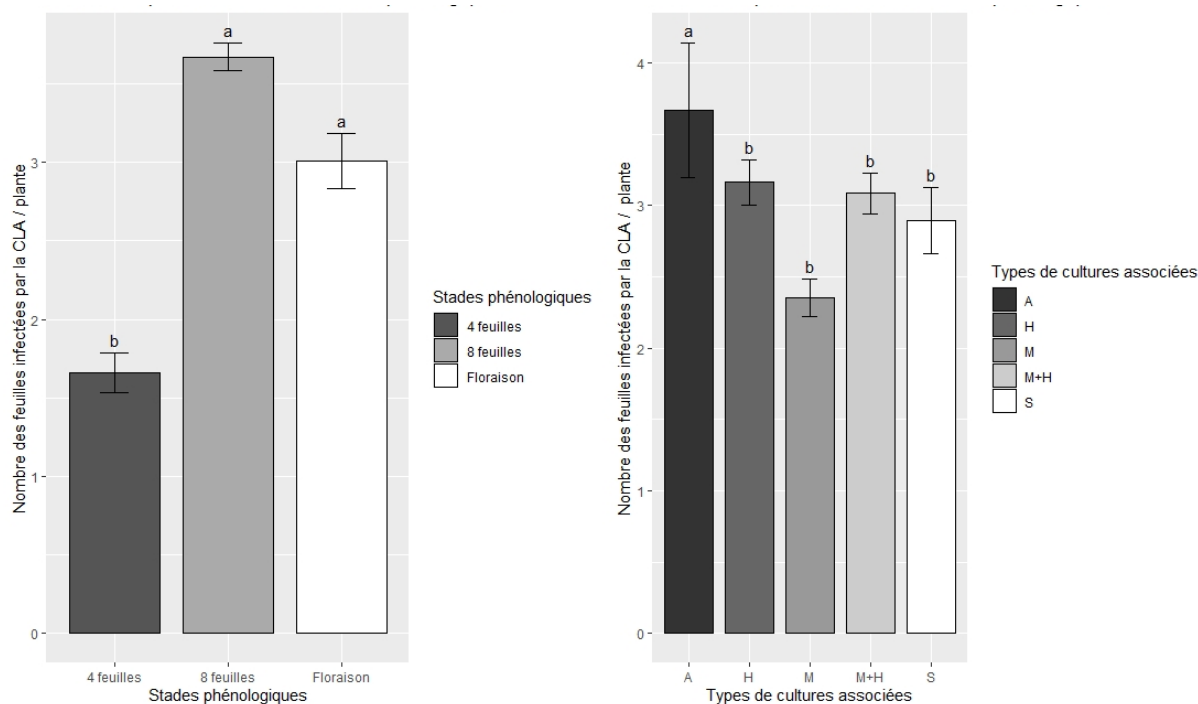


Fig. 3. Nombre des feuilles atteints par la CLA par plante

Légende: M= Manioc, H= Haricot, S= Soja, A= Arachide. Les moyennes accompagnées d'une même lettre ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5 % du test SNK (Student Newman Keuls)

La figure 3 relative à la comparaison multiple des moyennes montre que le stade de floraison et celle à 8 feuilles ont une moyenne similaire tenant compte du nombre des feuilles attaquées par plante. Les valeurs sont respectivement égales à $3,67 \pm 0,89$ et $3,49 \pm 1,34$ feuilles attaquées par plante pour le stade à 8 feuilles et le stade de floraison. Pour le stade à 4 feuilles, la moyenne est de $2,27 \pm 0,89$ feuilles attaquées par plante. La moyenne du nombre de feuilles attaquées par plante dans l'association maïs+ arachide soit $4,31 \pm 1,51$ feuilles par plante; cette valeur a été supérieure aux moyennes des autres associations notamment l'association avec le haricot ($3,31 \pm 1,30$ feuilles par plante), avec le soja ($3,13 \pm 1,26$ feuilles par plante), avec manioc+ haricot ($3,08 \pm 0,55$ feuilles par plante) et avec manioc ($3,02 \pm 1,05$ feuilles par plante).

3.3. NOMBRE DE LARVES PAR UNITÉ DE SURFACE (25 M2)

L'analyse de la variance montre que le nombre de larves par unité de surface varie considérablement d'un stade phénologique à l'autre (ANOVA, $p\text{-value} = 2.10^{-16}***$). Mais entre les cadrats installés dans chaque champ, il n'y a pas de différence significative ($p\text{-value} = 0,697$), de même que l'interaction entre les deux facteurs (ANOVA, $p\text{-value} = 0,617$). L'analyse de la variance montre que les cultures associées au maïs influencent d'une manière très hautement significative le nombre de larves par unité de surface (ANOVA, $p\text{-value} = 3,88.10^{-5}***$). Les effets de cadrats ainsi que l'interaction ne sont pas significatifs au seuil de 5 % (ANOVA, $p\text{-value} = 0,978$; $p\text{-value} = 0,998$). La comparaison multiple des moyennes est présentée au niveau de la figure 4.

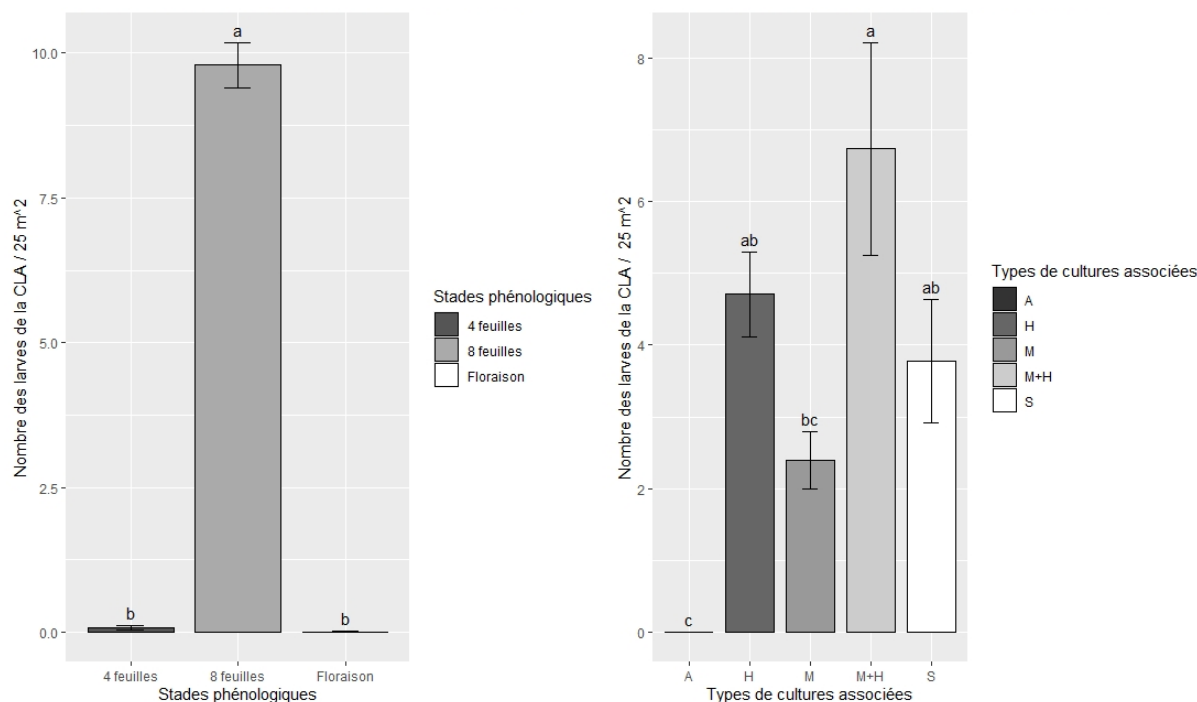


Fig. 4. Nombre des larves de la CLA par unité de surface

Légende: M= Manioc, H= Haricot, S= Soja, A= Arachide. Les moyennes accompagnées d'une même lettre ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5 % du test SNK (Student Newman Keuls)

Les résultats de la figure 4 montrent qu'au niveau de champs de maïs au stade de 8 feuilles, le nombre de larves de la CLA est largement supérieur avec des valeurs allant de 2 à 25 larves donnant une moyenne de 9,79±3,91 larves par 25 m². Au niveau des autres stades phénologiques, les moyennes des larves sont quasi-nulles. Pour le stade à 4 feuilles, le nombre de larves varie de 0 à 3 avec une moyenne de 0,08. Par contre, au stade de floraison, le nombre de larves observé varie de 0 à 1 avec une moyenne de 0,01. La figure 4 montre que le grand nombre de larves par unité de surface a été retrouvé dans les associations intégrant le manioc + haricot (6,7±5,72 larves). Les associations avec le haricot et le soja ne sont pas différentes en termes de moyennes du nombre des larves soit respectivement 4,7±5,46 larves et 3,77±5,46 larves. Les faibles valeurs ont été obtenues dans les associations maïs-manioc (2,4±4,67 larves) et maïs-arachide dont la valeur est nulle.

3.4. NOMBRE DE LÉSIONS PAR FEUILLE

L'analyse de la variance a montré que le nombre de lésions par feuille varie d'une manière très hautement significative avec les stades phénologiques (ANOVA, p-value=2.10⁻¹⁶***). L'influence du cadrat ainsi que l'interaction entre les deux facteurs n'ont pas donné d'effets significatifs (ANOVA, p-value=0,75; p-value=0,893 respectivement). Par contre, entre les types de cultures associées au maïs, l'analyse de la variance révèle de différences très significatives entre les moyennes du nombre de lésions par feuille (ANOVA, p-value=0,00298**). Les effets du cadrat ainsi que l'interaction sont similaires au cas des stades phénologiques (ANOVA, p-value=0,88115; p-value=0,93106 respectivement). La comparaison multiple des moyennes est présentée au niveau de la figure 5.

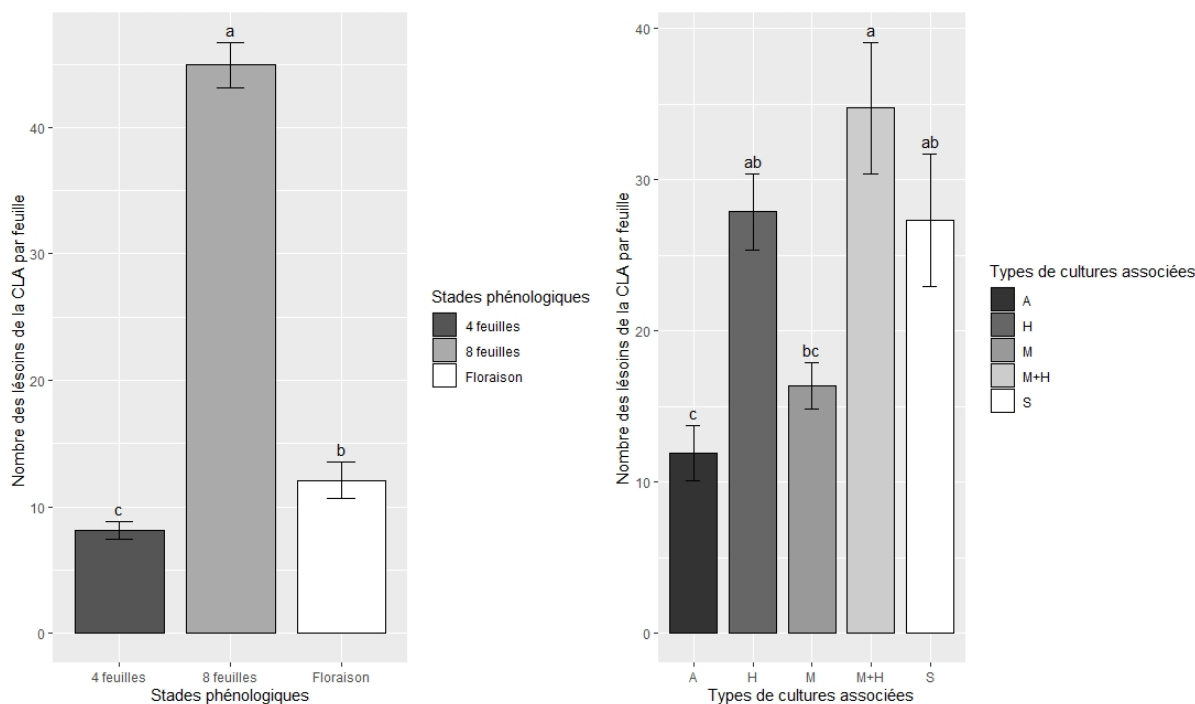


Fig. 5. Nombre de lésions sur les feuilles attaquées par la CLA

Légende: M= Manioc, H= Haricot, S= Soja, A= Arachide. Les moyennes accompagnées d'une même lettre ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5 % du test SNK (Student Newman Keuls)

Le graphique de comparaison multiple montre que le nombre de lésions par feuille au niveau du stade à 8 feuilles est supérieur au nombre de lésions par feuille au niveau des autres stades phénologiques (figure 5). Les moyennes valent 44, 9±17,75 lésions par feuille (stade à 8 feuilles), 14,05±14,94 lésions par feuille (stade floraison) et 11,14±5,97 lésions par feuilles (stade 4 feuilles). L'observation de la figure 4 montre que le nombre de lésions par feuille dans l'association maïs + manioc + haricot est supérieur (soit 34,74±16,84 lésions par feuille) au nombre de lésions par feuille pour les autres associations. L'association avec soja vient en deuxième position avec une moyenne de 29,52±27,66 lésions par feuille, ensuite avec l'association maïs-haricot avec une moyenne de 29,27±22,89 lésions par feuille. Enfin, l'association maïs-manioc et maïs-arachide ont donné des valeurs faibles soit respectivement 21,03±18,05 et 14,01±7,00 lésions par feuille.

3.5. INCIDENCE DE LA CLA EN FONCTION DE STADES PHÉNOLOGIQUES ET DES TYPES DE CULTURE

Globalement, l'incidence moyenne de la CLA dans les champs de maïs dans notre milieu d'étude varie de 0 à 75 % avec une moyenne de 17,52±15,23 %. Les stades phénologiques du maïs influencent d'une manière très hautement significative la variation de l'incidence de la CLA dans le champ à un autre (ANOVA, p-value=2.10⁻⁶). En effet, l'incidence de la CLA dans les champs au stade de 8 feuilles est supérieure à celle des autres stades phénologiques. Les valeurs varient de 10,53 à 75 % avec une moyenne de 35,72±10,86 % ont été observés dans les champs de maïs au stade de 8 feuilles. Des faibles valeurs de l'incidence ont été observés dans les champs au stade de floraison; elles varient de 0 à 31,25 % avec une moyenne de 9,88±6,91 %. Enfin, l'incidence de la CLA dans les champs de maïs au stade de 4 feuilles varie de 0 à 22,72 % avec une moyenne de 6,96±5,41 %. Ces faibles valeurs l'incidence dans les champs de maïs au stade de 4 feuilles sont liées au fait qu'à ce stade, la densité des larves responsables de dégâts est encore faible.

Les résultats montrent une variation de l'incidence en fonction des cultures associées au maïs (ANOVA, p-value=3,44.10⁻⁵). Dans les champs de maïs associé au manioc ± haricot, l'incidence de la CLA varie de 5,88 à 54,54 % avec une moyenne de 25,28±13,45 %. Pa contre, dans les champs où le maïs est associé uniquement au haricot, des valeurs variant de 0 à 60 % ont été observés avec une moyenne de 22,45±16,16 %. L'incidence de la CLA varie de 0 à 55 % dans les associations maïs ± soja avec une moyenne de 20,25±16,01 %. Les plus faibles valeurs sont obtenues dans les associations maïs + arachide dont les

valeurs oscillent entre 0 et 31,25 % avec une moyenne de $11,75 \pm 8,78$ % et celles avec maïs + manioc varient de 0 à 75 % avec une moyenne de $13,70 \pm 14,04$ %. La figure 6 montre les moyennes de l'incidence de la CLA dans les champs.

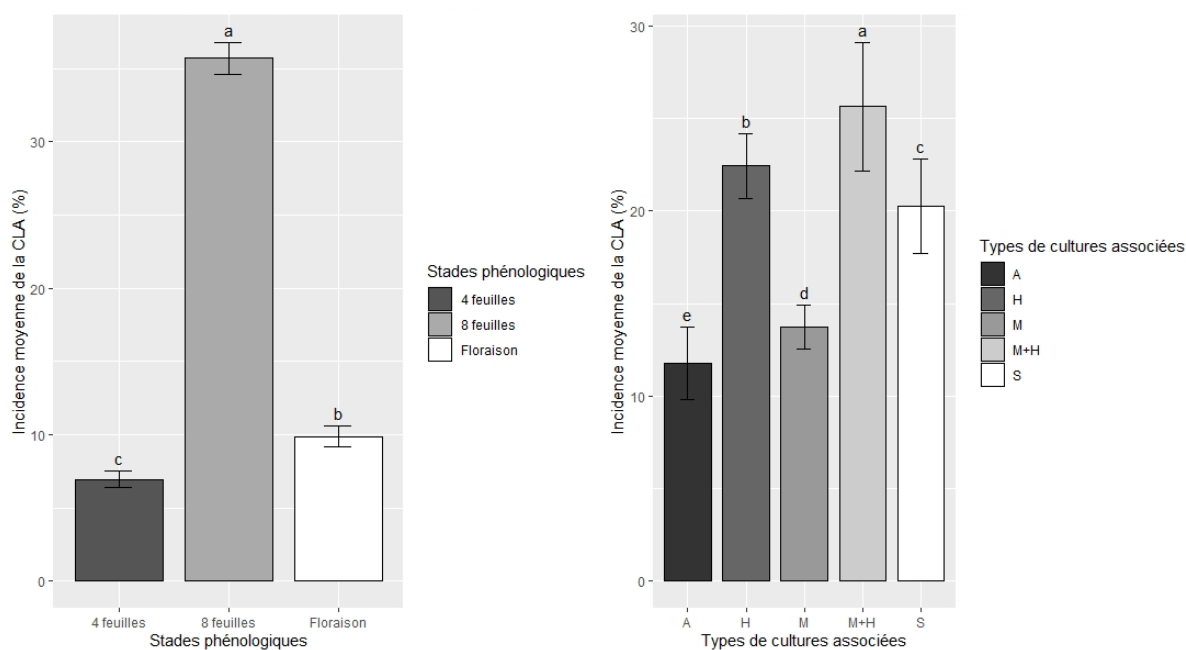


Fig. 6. Incidence de la CLA dans les champs

Légende: M= Manioc, H= Haricot, S= Soja, A= Arachide. Les moyennes accompagnées d'une même lettre ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5 % du test SNK (Student Newman Keuls)

Les résultats de l'étude ont montré une corrélation positive ($r=0.89$) et significative entre l'incidence de la chenille légionnaire d'automne et le nombre des larves dans le champ ($t=34.55$, $DDL=298$, $p\text{-value}=2.2 \cdot 10^{-16}$). L'intervalle de confiance du coefficient de corrélation à 95 % de confidentialité varie de 0.869 à 0.915. L'analyse de la droite de régression indique que l'augmentation du nombre de larves explique à 80 % la variation de l'incidence de la chenille légionnaire d'automne dans le champ ($R^2=0.80$). La figure 7 montre la tendance de la droite de régression entre les deux variables.

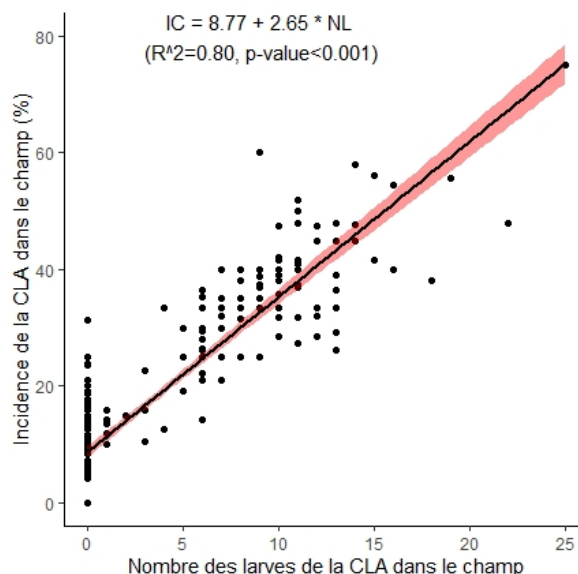


Fig. 7. Corrélation entre l'incidence et le nombre des larves de la CLA

3.6. SÉVÉRITÉ DE LA CLA EN FONCTION DES STADES PHÉNOLOGIQUES ET DES TYPES DE CULTURES

D'une manière générale, la sévérité de la CLA des champs dans le milieu d'étude varie de 0 à 22,53 % avec une moyenne de 7,24 %. Néanmoins, la sévérité varie en fonction des stades phénologiques du maïs (ANOVA, p-value=2.10⁻⁶). Pour le stade à 4 feuilles, l'indice de sévérité varie de 0 à 12,19 % avec une moyenne de 1,83±2,51 %. Au stade de floraison, les valeurs de l'indice de sévérité oscillent dans la fourchette allant de 0,24 à 4,11 % avec une moyenne de 2,32±0,93 %. Un pourcentage élevé de sévérité de la CLA a été observé dans les champs de maïs qui étaient au stade de 8 feuilles. Ces valeurs varient de 9,23 à 22,53 % avec une moyenne de 17,32±2,90 % (figure 8).

Le taux de sévérité de la CLA varie également en fonction des types de culture associées au maïs dans le champ (ANOVA, p-value=0,045). Les valeurs élevées de la sévérité de la CLA ont été obtenues au niveau de l'association avec maïs-manioc + haricot. Au sein de cette dernière, la sévérité varie de 2,13 à 18,44 % avec une moyenne de 11,72±8,53 %. Pour l'association maïs-haricot, les pourcentages de la sévérité varient de 1,01 à 22,53 % avec une moyenne de 10,28±8,66 %. Les faibles valeurs de la sévérité ont été observé dans les champs associant le maïs et soja avec une sévérité minimale de 1,81 %, une moyenne de 7,75±8,40 % et un maximum de 20,47 %. Un effet considérable de la réduction de la sévérité s'est observé dans les champs de maïs intégrant le manioc et l'arachide. Dans les champs de maïs avec manioc, la sévérité varie de 0 à 19,01 % avec une moyenne de 5,32±6,86 % alors qu'avec l'arachide, les valeurs observées oscillent entre 2,37 et 4,11 % avec une moyenne de 3,33±0,87 % (figure 8).

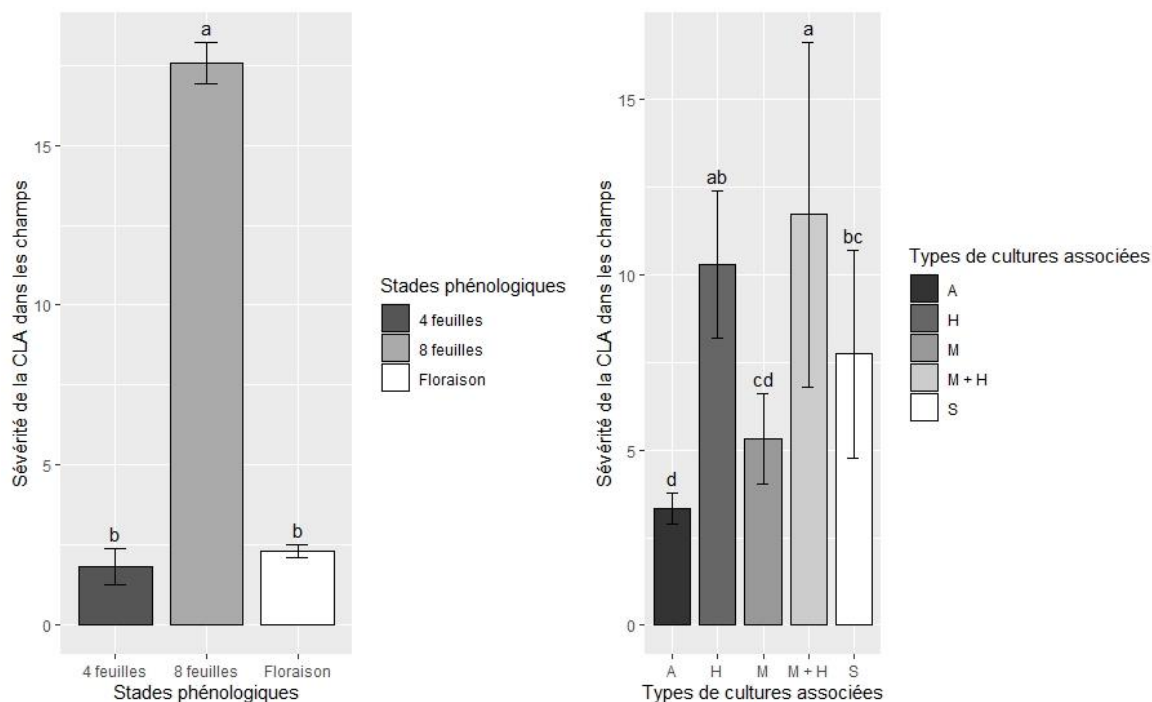


Fig. 8. Sévérité de la CLA dans les champs

Légende: M= Manioc, H= Haricot, S= Soja, A= Arachide. Les moyennes accompagnées d'une même lettre ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5 % du test SNK (Student Newman Keuls)

3.7. INDICE DE GRAVITÉ (IG) DES SYMPTÔMES

La tendance de l'indice de gravité de symptômes à celle tous les paramètres susmentionnés. En effet, les champs de maïs au stade de 8 feuilles ont présenté des valeurs de l'IG supérieures par rapport aux deux autres stades phénologiques. En général, l'indice de gravité de symptômes basé sur les codes de l'échelle de Davis & Williams (1992) est en moyenne de $1,58 \pm 2,57$ dans les champs au stade de 8 feuilles, $0,21 \pm 0,75$ au stade de floraison et $0,16 \pm 0,74$ au stade 4 feuilles (figure 9).

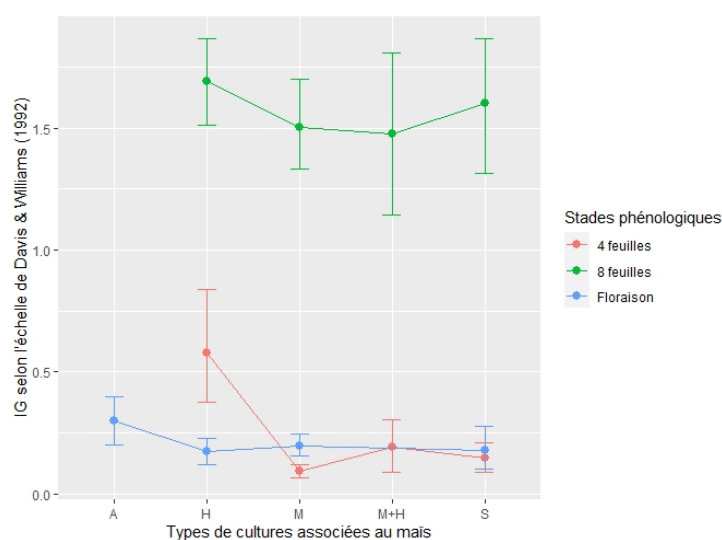


Fig. 9. Indice de Gravité de symptômes de la CLA dans les champs

4. DISCUSSION

4.1. NOMBRE DES LARVES DE LA CHENILLE LÉGIONNAIRE D'AUTOMNE

Spodoptera frugiperda (J.E. Smith) est largement répandu dans les régions chaudes du monde. Les dommages se résument à la défoliation bien que les plantes saines récupèrent généralement assez rapidement. Mais une grande population de ravageurs peut provoquer une défoliation et des pertes de rendement consécutives; les larves migrent ensuite vers les zones adjacentes en véritables chenilles légionnaires. Peu d'études ont été effectuées sur l'incidence et la sévérité de la CLA dans la zone d'étude. L'analyse de la variance montre que le nombre de larves par unité de surface varie considérablement d'un stade phénologique à l'autre. Les résultats de cette étude montrent qu'au niveau de champs de maïs au stade de 8 feuilles, le nombre de larves de la CLA est largement supérieur avec des valeurs allant de 2 à 25 larves donnant une moyenne de $9,79 \pm 3,91$ larves par 25 m^2 contrairement aux autres stades phénologiques (figure 4). Ce nombre élevé des larves dans les champs au stade de 8 feuilles serait dû au fait qu'au cours de ce stade les larves de chenilles sont non seulement devenues adultes mais aussi visibles. Par ailleurs, les auteurs [55] ont trouvé que le nombre de larves de la chenille légionnaire d'automne varie de 5,0 à 81,0 pour 100 plants de maïs. Selon ces auteurs, la densité de chenille légionnaire d'automne dans un champ varie en fonction de la température d'une région. Le nombre des larves augmente d'une manière significative avec l'élévation de la température. Dans deux régions tropicales de la Chine notamment à Haikou et Lingshui, [55] a montré que la densité larvaire varie respectivement de 4 à 51 larves par 100 plants et de 16-22 larves par 100 plants au mois de Décembre. Dans les régions subtropicales situées au Sud, la densité larvaire obtenu varie de 1 à 13 larves par 100 plants à Zhangzhou dans le Sud de Fujian, 2 larves par 100 plants de maïs à Quizhou, 6 à 29 larves par 100 plants à P'uer, 12 larves par 100 plants à Dehong en Décembre et 5 larves par 100 plants en Janvier et enfin, 5 à 81 larves par 100 plants à Chuxiong. Par contre, dans des régions subtropicales situées au Centre, la densité larvaire a été de 3 par 100 plants à Ningde, 1 à 21 à Nanping, 5 par 100 à Hengyang and Liuzhou. Dans les régions avec cultures intercalaires, la densité larvaire diminue en passant de 31 larves par 100 plants (Novembre) à 12,5 larves par 100 plants (Décembre) dans la zone de Kunming. La température minimale favorisant le développement de la chenille légionnaire se situe dans fourchette allant de $8,7-13,8 \text{ }^\circ\text{C}$ [57]. En Inde, [47] a trouvé que le nombre de larves variait de $0,93 \pm 0,17$ à $3,07 \pm 0,58$ pour 10 plantes à travers l'emplacement dans les champs de maïs. Le plus grand nombre (3,07 pour 10 plantes) de larves de *S. frugiperda* ont été enregistrés à Raichur et le plus petit nombre (0,93 pour 10 plantes) de larves est enregistré à Chitradurga. Au Kenya, le nombre moyen de larves par plant de maïs variait de 0,002 à 0,18 dans les systèmes push-pull adapté au climat et de 0,23 à 2,07 dans le maïs monoculture. De même en Ouganda, le nombre moyen de larves par plant de maïs variait de 0,13 à 0,17 dans le push-pull adapté au climat et de 0,52 à 0,83 dans les parcelles en monoculture de maïs. En Tanzanie, le nombre de larves par plant de maïs étaient en moyenne de 0,02 dans le push-pull adapté au climat et 0,38 dans les parcelles de monoculture de maïs [56]. [24] ont trouvé que le nombre moyen de larves/plante était de $1,3 \pm 0,01$ tandis que celui de l'estimation moyenne des dommages était de $4,8 \pm 0,2$. Le niveau de dégâts était également significativement positivement corrélé à l'abondance des larves ($r^2 = 0,562$). En 2018, le nombre moyen de larves/plante était de $2,0 \pm 0,2$ et celui des dégâts était de $2,4 \pm 0,1$. Les papillons capturés à une fréquence hebdomadaire étaient significativement corrélés aux dégâts ($r^2 = 0,537$) et à l'abondance des larves ($r^2 = 0,687$). L'abondance des larves était positivement corrélée aux dégâts, mais cela n'était pas significatif ($r^2 = 0,431$). Les dégâts moyens sur le maïs en 2017 ($4,8 \pm 0,4$) étaient significativement plus élevés en 2018 ($2,4 \pm 0,3$) ($p = 0,005$) [24].

4.2. INCIDENCE ET SÉVÉRITÉ DE LA CHENILLE LÉGIONNAIRE D'AUTOMNE

Cette étude montre que l'incidence de la chenille légionnaire d'automne varie d'une manière significative avec les stades phénologiques et les types de cultures associés au maïs. L'incidence moyenne de la chenille légionnaire d'automne dans les champs au stade de 8 feuilles est supérieure à celle des autres stades phénologiques. Les moyennes sont 35,72 %, 9,88 % et 6,96 % respectivement pour le stade à 8 feuilles, la floraison et le stade à 4 feuilles (figure 6). Des faibles taux d'incidence ont été retrouvés dans les champs où le maïs est associé à aux légumineuses (arachide et soja) et au manioc. Des résultats qui corroborent ont été obtenus dans diverses régions où sévissent la chenille légionnaire d'automne. En effet, [31] rapporte une incidence moyenne évaluée à 53% sur 137 territoires enquêtés en RD Congo en 2018, contre 64% évaluée sur 86 territoires du pays en 2017. Ainsi, le seuil de nuisibilité économique pour la chenille légionnaire d'automne est avant la floraison égal à 20 % des plants attaqués alors qu'après la floraison, ce seuil est égal à 40 % des plants attaqués [8]. D'autres études menées sur le suivi des infestations de chenilles ont eu lieu dans treize (13) régions du Burkina Faso. Les conclusions de ces études montrent que les taux d'infestation varient entre 5 et 90% voire 100 % sur certaines parcelles [58]. La référence [56] a trouvé que la proportion des plants infectés par les larves au Kenya variait de 3,2 à 18,6% avec le push-pull adapté au climat, et de 80,0 à 95,4% dans la monoculture de maïs. Selon ces mêmes auteurs, en Ouganda, l'incidence variait ont varié de 22,0 à 27,3 % en le push-pull adapté au climat et de 80,0 à 94% en monoculture de maïs alors qu'en Tanzanie, les dommages ont été en moyenne

de 5,4 % dans les push-pull et 67,1% en monoculture de maïs. En Inde, [47] a constaté une chute globale l'incidence de la chenille légionnaire d'automne dans les dix districts de Karnataka sur différents stades de croissance du maïs. D'après les résultats, une réduction de 40 % de l'incidence à l'âge de 15 à 30 jours de culture (récolte précoce en stade de croissance) et une culture âgée de 31 à 45 jours (stade de croissance intermédiaire). Cependant, ces auteurs n'ont pas observée une infestation de ravageurs au stade de reproduction de la culture. L'incidence la plus faible de *S. frugiperda* était de $22,13 \pm 3,47$ % à Chitradurga et la plus élevée de $45,83 \pm 5,78$ % a été enregistrée dans le district de Raichur de Karnataka. L'indice de gravité de symptômes d'après l'échelle utilisée par ses auteurs variait de $3,00 \pm 0,32$ à Chitradurga à $4,93 \pm 0,57$ à Raichur à différents stades de croissance du maïs [47]. A plus, [47] a également trouvé une corrélation négative entre l'âge des plants de maïs et l'incidence de *S. frugiperda* ($r = -0,32$; $P < 0,001$). [46] ont trouvé que l'incidence de la chenille légionnaire d'automne dans les champs de maïs à l'Est du Zimbabwe est de $48,3 \pm 28,3$ % et la sévérité est égale à $31,6 \pm 26,3$ %. S'appuyant sur les résultats de deux régions étudiées (Makoni et Chipinge), l'analyse a montré une différence significative entre l'incidence de cette chenille dans les différents champs ($p=0,0005$) et entre le taux d'attaque (sévérité) des plants au sein de champs ($p=0,005$). L'incidence est dès lors égale à $41,5 \pm 28,7$ % en Chipinge et $54,9 \pm 26,4$ % en Makoni, alors que le taux d'attaque est égal à $26,4 \pm 24,8$ % et $36,8 \pm 26,7$ % respectivement en Chipinge et Makoni. Dans une étude les régions du Cameroun, une incidence de $22,9 \pm 5,7$ % a été dans la région du Nord, $79,2 \pm 3,4$ % dans la région de l'Ouest et $54,0 \pm 10,4$ % dans la région du littoral [59]. La référence [16] note que 98 % des champs de maïs au Ghana sont infectés par la chenille légionnaire d'automne avec une incidence moyenne de 26,6 %. Par contre, pour la Zambie, la valeur moyenne d'incidence de la chenille légionnaire est assez élevée et estimée à 35 % par [15] et [60]. La référence [42] a également trouvé dans 10 régions du Sud de Sumatra en Indonésie des pourcentages d'incidence variant de 44 % à 100 % et une sévérité située dans la fourchette de 11,5 % à 65 %. Par contre, [61] a trouvé une incidence de 79.5% dans la municipalité Sud de Nkoranza en région de l'Est du Ghana. La référence [63] mentionne dans un rapport des pays du G20 qu'en Chine, les infestations de 60 % dans les régions de Yunnan, 12 % à Guanxi et 7 % à Sichuan. En Amérique, ces auteurs parlent des infestations de 100 % sur le maïs et le sorgho. Pa contre en Asie et précisément en Inde, ce rapport note que 100 % des infestations s'observent sur le maïs, 60,1 % sur le sorgho, 10,2 % sur l'éleusine, 22,9 % sur le millet basse-cour et à 41,4 % sur le millet perlé. En Corée, les infestations sont de l'ordre de 50 % à Taean et 15 % à Goseong. En Ethiopie, les infestations minimales de la chenille légionnaire dans les champs de maïs sont de l'ordre de 30 % [26]. Dans le district de Bulambushi en Ouganda, [43] ont trouvé des pourcentages de sévérité de 32 % à Buwekanda et 60 % à Buwekanda. Les plants analysés avaient des feuilles endommagées à différents niveaux de l'échelle proposée par la référence [44]. Dans six districts de l'Ouganda, [62] ont observés des variations significatives de l'incidence de la chenille légionnaire entre la monoculture et les cultures intercalaires (p -value $<0,001$). Ces auteurs rapportent une incidence est de $65,5 \pm 6,16$ % dans les associations maïs-haricot, $77,7 \pm 6,60$ % dans les associations maïs-soja, $71,4 \pm 9,86$ % dans les associations maïs-arachide, $31,7 \pm 6,601$ % dans les champs avec une technologie push-pull climatiquement intelligente, $31,7 \pm 6,01$ % dans les champs avec une technologie push-pull conventionnelle et $92,5 \pm 2,92$ dans la monoculture. Ces résultats corroborent les observations soulevées par nombreux auteurs qui ont constaté que les populations d'insectes nuisibles sont plus petites dans divers écosystèmes ou cultures intercalaires [62].

4.3. INFLUENCE DU SYSTÈME DE CULTURE SUR L'INCIDENCE ET LA SÉVÉRITÉ DE LA CHENILLE LÉGIONNAIRE D'AUTOMNE

La présente étude est en accord avec les résultats indiqués où les cultures de légumineuses intercalées au maïs ont entraîné une infestation de CLA significativement plus faible, par rapport au maïs en monoculture. A cet effet, les études menées par Atltieri (1980) en Colombie ont conclu également que la polyculture en base d'un complexe d'adventices naturelles réduit significativement l'incidence de la CLA dans le champ. La référence [30] soutient également le fait que les associations culturales bien que aussi infestées montrent des différences d'attaque, notamment en considérant les associations comme maïs-arachide, maïs-riz, maïs-choux etc. Sur la culture d'arachide, les infestations peuvent atteindre 80 % si les larves s'installent au cours de la phase de pleine croissance et 62 % si celles-ci se manifestent pendant la phase de floraison [64]. Ces auteurs rapportent que dans les champs de blé, les infestations varient de 30 à 100 % contre 9,33 à 100 % dans les champs d'orge [64].

Cette étude montre que le taux de sévérité de la CLA varie également en fonction des types de culture associées au maïs dans le champ (ANOVA, p -value=0,045). Les valeurs élevées de la sévérité de la CLA ont été obtenues au niveau de l'association avec maïs-manioc + haricot (figure 8). La référence [59] a obtenu des résultats faisant état de la sévérité dont les pourcentages sont de $2,15 \pm 0,08$ % dans la région du Nord du Cameroun, $3,64 \pm 0,10$ % dans la région du littoral et $3,29 \pm 0,12$ % dans la région de l'Ouest. Les valeurs évoquées par [59] sont inférieures à celles obtenues dans cette étude. Par ailleurs, [62] a constaté que la sévérité de l'infestation était le plus faible lorsque l'on applique la technologie push pull climato-intelligente ($1,37 \pm 0,581$) et les différences étaient très significatives ($P < 0,001$) par rapport au maïs intercalé avec des légumineuses ($1,97 \pm 0,901$ % pour l'association maïs-haricot, $2,17 \pm 0,874$ % pour le maïs-soja et $2,14 \pm 0,910$ % pour le maïs-arachide) et au maïs en

monoculture (2.91± 1.224 %). Semblable à la technologie push pull climato-intelligente, la technologie push pull conventionnelle ont également montré un niveau de sévérité plus faible (1.49± 0.747 %) et les différences étaient très significatif (p-value < 0,001) par rapport au maïs-soja et maïs monoculture et significatifs entre les associations maïs-haricot et maïs-arachide. Ces résultats sont similaires à ceux de [56] qui ont également observé une réduction de l'incidence, de la sévérité et du nombre de larves dans les technologies push pull contrairement à la monoculture de maïs. Ces auteurs évoquent une réduction significative de 82,7% du nombre moyen de larves par plante et de 86,7% des dommages aux plantes par parcelle ont été observés dans les parcelles push-pull adaptées au climat par rapport aux parcelles de monoculture de maïs.

5. CONCLUSION

Ce travail avait pour objectif de déterminer l'incidence et la sévérité de la chenille légionnaire d'automne (*Spodoptera frugiperda*) et d'étudier l'influence du système de culture sur le degré d'infestation de la chenille légionnaire d'automne dans les champs de maïs cultivé à localité de Kivira dans la chefferie des Bashu, territoire de Beni, à l'Est de la République Démocratique du Congo. Pour atteindre ces objectifs, 60 champs de maïs dont 20 champs au stade 4 feuilles, 20 champs au stade 8 feuilles et 20 champs au stade de floraison ont été visités. A l'issue de l'analyse, les résultats montrent que le nombre des plants malades, le nombre de larves par unité de surface, le nombre de feuilles attaquées par plante, le nombre de lésions par feuilles, l'incidence et l'indice de sévérité liés à la chenille légionnaire d'automne varient d'un champ à un autre en fonction des stades phénologiques et des types de cultures associés au maïs.

REFERENCES

- [1] Sharanabasappa, Kalleshwaraswamy C M, Asokan R, Swamy H M, Maruthi M S, Pavithra H B, Hegde K, Navi S, Prabhu S T, Goergen G. 2018. First report of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J E Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), an alien invasive pest on maize in India. *Pest Management in Horticultural Ecosystems*, 24, 23–29.
- [2] Tianmeng, L., Jianming, W., Xiaokang, H., et al., 2018. Land-use change drives present and future distributions of Fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), *Science of the Total Environment* (2018), <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135872>.
- [3] Maino, J.L., Schouten, R., Overton, K., Day, R., Ekesi, S., Bett, B., Barton, M., Gregg, P.C., Umina, P.A., Reynolds, O.L., 2021. Regional and seasonal activity predictions for fall armyworm in Australia. *Current Research in Insect Science*, 1 (2021) 100010. <https://doi.org/10.1016/j.cris.2021.100010>.
- [4] De Groote, H., Kimenju, S. C., Munyua, B., Palmas, S., Kassie, M., & Bruce, A. (2020). Spread and impact of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda* J.E. Smith) in maize production areas of Kenya. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 292, 106804. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106804>.
- [5] Chanda, M., De Groote, H., Kinoti, L., Munsaka, A., Kuntashula, E., Bruce, A.Y., Nkonde, C., 2020. Farmer evaluation of pesticide seed-coating to control fall armyworm in maize, *Crop Protection*, <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105691>.
- [6] Goergen, G., Kumar, P.L., Sankung, S.B., Togola, A., Tamò, M., 2016. First Report of Outbreaks of the Fall Armyworm *Spodoptera frugiperda* (J E Smith) (Lepidoptera, Noctuidae), a New Alien Invasive Pest in West and Central Africa. *PLoS ONE* 11 (10): e0165632. doi: 10.1371/journal.pone.0165632.
- [7] FAO, 2017a. Note d'orientation de la FAO sur la Chenille légionnaire d'automne en Afrique. Rome, 8 p.
- [8] Ndayiragije, P., 2019. Manuel de formation des formateurs sur la lutte intégrée contre la chenille légionnaire d'automne, *Spodoptera frugiperda*. FAO, Bujumbura, 90 p.
- [9] Daudi, S., Luboobi, L., Kgosimore, M., Kuznetsov, D., 2021. A fractional-order fall armyworm-maize biomass model with naturally beneficial insects and optimal farming awareness. *Results in Applied Mathematics*, 12 (2021) 100209. <https://doi.org/10.1016/j.rinam.2021.100209>.
- [10] N'guessan, K.L., 2017: Performances agronomiques du maïs [*Zea mays* (L) (Poaceae)] et du niébé [*Vigna unguiculata* (L.) Walp. (Fabaceae)] dans différents types d'associations culturales. Mémoire de Master Productions Végétales, Université Nangui Abrogoua, Côte d'Ivoire, 51 p.
- [11] Zhou, Y., Wu, Q., Zhang, H., Wu, K., 2021. Spread of invasive migratory pest *Spodoptera frugiperda* and management practices throughout China. *Journal of Integrative Agriculture* 2021, 20 (3): 637–645. DOI: 10.1016/S2095-3119 (21) 63621-3.
- [12] Mahat, K., Mitchell, A., Zangpo, T., 2021. An updated global COI barcode reference data set for Fall Armyworm (*Spodoptera frugiperda*) and first record of this species in Bhutan. *J. Asia. Pac. Entomol.* 24 (1), 105–109. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2020.11.013>.

- [13] Tambo, J.A., Kansime, M.K., Mugambi, I., Rwomushana, I., Kenis, M., Day, R.K., Lamontagne-Godwin, J., 2020. Understanding smallholders' responses to fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) invasion: Evidence from five African countries. *Science of the Total Environment* 740 (2020) 140015. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140015>.
- [14] Prasanna B.M., Huesing J. E., Eddy, R. et Peschke, V. M., 2018: La chenille légionnaire d'automne en Afrique: un guide pour une lutte intégrée contre le ravageur. Première édition. Mexico, CDMX: CIMMYT, 124 p.
- [15] Day, R., Abrahams, P., Bateman, M., Beale, T., Clottey, V., Cock, M., Colmenarez, Y., Corniani, N., Early, R., Godwin, J., Gomez, J., Moreno, P.G., Murphy, S.T., OppongMensah, B., Phiri, N., Pratt, C., Silvestri, S., Witt, A., 2017. Fall armyworm: impacts and implications for Africa. *Outlooks Pest Manag.* 28, 196–201.
- [16] Tulashie, S.K., Adjei, F., Abraham, A., Addo, E., 2021. Potential of neem extracts as natural insecticide against fall armyworm (*Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering* 4 (2021) 100130. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2021.100130>.
- [17] Abrahams, P., Bateman, M., Beale, T., Clottey, V., Cock, M., Colmenarez, Y., Corniani, N., Day, R., Early, R., Godwin, J., Gomez, J., Moreno, P.G., Murphy, S.T., OppongMensah, B., Phiri, N., Pratt, C., Richards, G., Silvestri, S., Witt, A., 2017. Fall armyworm: impacts and implications for Africa. *Evidence Note* (2), September 2017. UKAID, CABI, London.
- [18] Sibiya, J., Tongoona, P., Derera, J., Makanda, I., 2013. Farmers' desired traits and selection criteria for maize varieties and their implications for maize breeding: A case study from KwaZulu-Natal Province, South Africa. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics*, Vol. 114, n°1 (2013) 39–49.
- [19] Pomalegni, S.B.C., Ahoyo Adjovi, N.R., Kpadé C. P., Gbemavo, D.S.J.C., Allagbé, C.M., Adjanohoun, A. et Mensah, G.A., 2019: Capitalisation des études et autres travaux sur les chaînes de valeur du maïs au Bénin. *Document Technique et d'Informations (DT&I). CNS Maïs, INRAB, ProCAD, MAEP, PPAAO/WAAPP, Bénin*. Dépôt légal N° 11236 du 29 avril 2019, 2ème Trimestre, Bibliothèque Nationale (BN) du Bénin. ISBN: 978-99919-75-87-0. En ligne (online) sur le site web: <http://www.slire.net>. 419 pages.
- [20] James, C. 2003. Etude globale des plantes transgéniques commercialisées: 2002 - Etude de cas: Maïs Bt. ISAAA Briefs No. 29. ISAAA: Ithaca, NY, 15 p.
- [21] Nyembo, K.L., Useni Sikuzani, Y., Mpundu, M.M., Kyungu, K., Baboy, L.L., 2014: Evaluation des nouvelles variétés de maïs (*Zea mays* L.) en provenance de la firme Pannar dans les conditions climatiques de la région de Lubumbashi (RD Congo). *E-Revue UNILU, Presses universitaires de Lubumbashi*, 11 p.
- [22] Fernandes P., Sylvie P., Amadji G., Belmin R., Bocar Bal A., Brévault T., Chailleux A., Clouvel P., Dannon E., Diallo M.D., Diarra K., Diatta P., Djigal D., Faye E., Feder F., Legros S., Lopez Llandres A., Médoc JM., Mensah A., Niang Y., Parrot L., Simon S., Soti V., Téréta I., De Bon H, Maiga D., Sanon A., Koné D., Akantetou P, Babin R., 2019: Conception de systèmes de cultures agro-écologiques par la gestion agroécologique des bioagresseurs et l'utilisation de résidus organiques (Divecosys) – projet scientifique actualisé et élargi aux nouveaux membres 2019-2024, 30 p.
- [23] Ekpa, O., Palacios-Rojas, N., Kruseman, G., Fagliano, V., 2017. Saharan African maize-based foods: Technological perspectives to increase the food and nutrition security impacts of maize breeding programmes. *Global Food Security*, Vol. 17, 48-56. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2018.03.007>.
- [24] Nboyine, J.A., Kusi, F., Abudulai, M., Badii, B.K., Zakaria, M., Adu, G.B., Alidu, H., Seidu, A., Osei, V., Alhassan, S., Yahaya, A., 2019: A new pest, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith), in tropical Africa: its seasonal dynamics and damage in maize fields in northern Ghana, 21 p.
Version of Record: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261219419303060>.
- [25] Anonyme, 2017. Alerte: La chenille légionnaire d'automne *Spodoptera frugiperda*, Nouveau ravageur du maïs en Afrique de l'Ouest, a atteint le Niger. Centre Régional AGRHYMET, Bulletin spécial, Juin 2017, Niamey, pp.1-7.
- [26] Assefa, F., & Ayalew, D., 2019. Status and control measures of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) infestations in maize fields in Ethiopia: A review. *Cogent Food & Agriculture*, 5 (1), 1641902. <https://doi.org/10.1080/23311932.2019.1641902>.
- [27] FAO, 2017b. Note d'information du Groupe Inter Bailleurs pour le Développement Rural en République Démocratique du Congo sur la chenille légionnaire d'automne. Points saillants sur l'invasion de la nouvelle chenille ravageuse du maïs en RDC et propositions de réponses pour les populations affectées, Rome, 5 p.
- [28] Wu Q.L., Jiang, Y.Y., Hu, G., Wu, K.M., 2019. Analysis on spring and summer migration routes of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) from tropical and southern subtropical zones of China. *Plant Protection*, 45, 1–9.
- [29] Xiao, Y., 2021. Research on the invasive pest of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in China. *Journal of Integrative Agriculture* 2021, 20 (3): 633–636. DOI: 10.1016/S2095-3119 (21) 63623-7.
- [30] FAO, 2018. Gestion intégrée de la chenille légionnaire d'automne sur le maïs. Un guide pour les champs-écoles des producteurs en Afrique, Rome, 147 p.
- [31] Anonyme, 2018. Sécurité alimentaire, Niveau de production agricole et Animale, Évaluation de la Campagne Agricole 2017- 2018 et Bilan Alimentaire du Pays. Rapport, Ministère de l'agriculture, République Démocratique du Congo, 75 p.

- [32] Muteba, D-J.K. et Nkulu, J.F., 2019: Crises alimentaires et mesures d'atténuation en République Démocratique du Congo. Revue des stratégies et promotion de bonnes pratiques. Publications de la Konrad Adenauer Stiftung Kinshasa, 122 p.
- [33] Useni Sikuzani, Y., Chukiyabo, K.M., Tshomba, K.J., Muyambo, M.E., Kapalanga, K.P., Ntumba, N.F., Kasangij, A.K.P., Kyungu, K., Baboy, L.L., Nyembo, K.L., Mpundu, M.M., 2013: Utilisation des déchets humains recyclés pour l'augmentation de la production du maïs (*Zea mays* L.) sur un ferralsol du Sud-Est de la RD Congo. *Journal of Applied Biosciences* 66: 5070 – 5081.
- [34] Jean, C. et Boisclair, J., 2009: Les insectes nuisibles et utiles au maïs sucré: mieux les connaître, Édition Institut de recherche et de développement en agroenvironnement INC, Québec, 92 p.
- [35] Labrie, G. et Voynaud, L., 2013: Guide des ravageurs de sol en grandes cultures. Centre de recherche sur les grains inc. (CÉROM), Québec, 78 p.
- [36] L.. Kasay, "Dynamisme Démo-Géographique et mise en valeur de l'Espace en milieu équatorial d'altitude : Cas du Pays Nande au Kivu Septentrional, Zaïre.," Thèse Doctorat en Géographie, Université de Lubumbashi, Lubumbashi, 1988.
- [37] D. Kujirakwinja, G. Bashonga, and A. Plumptre, Etude socio-économique de la zone nord ouest du Parc National des Virunga (région de Lubero-Butembo-Beni), WWF, WCS,. « Programme de renforcement des capacités de gestion de l'ICCN et appui à la réhabilitation d'aires protégées en RDC », Feuille technique n°2, 2007.
- [38] M.. Bweya, M. C. Musavandalo, and M. Sahani, "Analyse de la dynamique spatio-temporelle du paysage forestier de la région de Beni (Nord-Kivu, RDC)," *Geo. Eco. Trop.*, vol. 43, no. 1, pp. 171–184, 2019.
- [39] K. E. Vyakuno, "Pression anthropique et aménagement rationnel des hautes terres de Lubero en R.D.C. Rapports entre société et milieu physique dans une montagne équatoriale. Tome I et II," Université de Toulouse II-Le Mirail, 2006.
- [40] O. Mirembe, "Echanges transnationaux, réseaux informels et développement local : une étude au Nord-Est de la République Démocratique du Congo," Thèse de doctorat en sciences sociales, Université Catholique de Louvain, 2005.
- [41] FAO, 2017c. Training manual on Fall Armyworm. Rome, 202 p.
- [42] Herlinda, S., Suharjo, R., Sinaga, M.E., Fawwazi, F., Suwand, S., 2021. First report of occurrence of corn and rice strains of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* in South Sumatra, Indonesia and its damage in maize. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, xxx (xxxx) xxx. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2021.11.003>.
- [43] Buteme, S., Masanza, M. and Masika Fred, B., 2020: Severity and prevalence of the destructive fall armyworm on maize in Uganda: A case of Bulambuli District. *African Journal of Agricultural Research*, Vol. 16 (6), pp.777-784, DOI: 10.5897/AJAR2019.14670.
- [44] Davis, F.M., Williams, W.P., 1992. Visual rating scales for screening whorl-stage corn for resistance to Fall armyworm. (n° Technical Bulletin 186). Mississippi State University, MS39762, USA.
- [45] Mochiah, M.B., Frimpong, K., Adama I., Darkwah, A.A., 2019. Efficacy of Sauveur 62 EC for the management of fall armyworm frugiperda (Lepidoptera: Noctuidae) on Maize (*Zea mays* L.). *International Journal of Current Research*, Vol. 11, Issue, 10, pp.7836-7840. DOI: <https://doi.org/10.24941/ijcr.36789.10.2019>.
- [46] Baudron, F., Zaman-Allah, M.A., Chaipa, I., Chari, N. and Chinwada, P., 2019: Understanding the factors influencing fall armyworm (*Spodoptera frugiperda* J.E. Smith) damage in African smallholder maize fields and quantifying its impact on yield. A case study in Eastern Zimbabwe. *Crop Protection* 120 (2019) 141–150. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.01.028>.
- [47] Koudahe, K., 2012: Inventaire des insectes ravageurs et maladies de la patate douce (*Ipomea batatas* Lam.) au Bénin: Cas de la station expérimentale de l'IITA-Bénin. Mémoire de licence en production végétale, Université de Lomé, 77 p.
- [48] Navik, O., Shylesha, A.N., Patil, J., Venkatesan, T., Lalitha, Y., Ashika, T.R., 2021. Damage, distribution and natural enemies of invasive fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J. E. smith) under rainfed maize in Karnataka, India. *Crop Protection* 143 (2021) 105536. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105536>.
- [49] Issoufou O.H., Boubacar S., Adam T. et Boubacar Y., 2017: Identification des insectes, parasites et évaluation économique de leurs pertes en graines sur les variétés améliorées et locale de niébé en milieu paysan à Karma (Niger). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 11 (2): 694-706.
- [50] Dagnelie, P., 2012b. Analyse de la variance. Extrait de Statistique théorique et appliquée Tome II. Inférence statistique à une et à deux dimensions. 3e édition. Editions De Boeck, Louvain-la-Neuve, Belgique, p.237-387.
- [51] Wickham, H., François, R., Henry L. and Müller, K., 2021). *Dplyr: A Grammar of Data Manipulation*. R package version 1.0.7. <https://CRAN.R-project.org/package=dplyr>.
- [52] Felipe de Mendiburu, 2021. *agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research*. R package version 1.3-5. <https://CRAN.R-project.org/package=agricolae>.
- [53] Wickham, H., 2016. *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York, 2016.
- [54] R Core Team, 2021. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

- [55] Yang, X., Song, Y., Sun, X., Shen, X., Wu, Q., Zhang, H., Zhang, D., Zhao, S., Liang, G., Wu, K., 2021. Population occurrence of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), in the winter season of China. *Journal of Integrative Agriculture* 2021, 20 (3): 772–782. DOI: 10.1016/S2095-3119 (20) 63292-0.
- [56] Midega, C.A.O., Pittchar, J.O., Pickett, J.A., Hailu, G.W., Khan, Z.R., 2018. A climate-adapted push-pull system effectively controls fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J E Smith), in maize in East Africa. *Crop Protection* 105 (2018) 10–15. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.11.003>.
- [57] He, L., Wang, T., Chen, Y., Ge, S., Wyckhuys, K.A.G., Wu, K., 2021. Larval diet affects development and reproduction of East Asian strain of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. *Journal of Integrative Agriculture* 2021, 20 (3): 736–744. DOI: 10.1016/S2095-3119 (19) 62879-0.
- [58] Anonyme, 2019. Lutte contre la chenille légionnaire d’automne au Burkina Faso, campagne agricole 2018-2019, Rapport général Octobre 2018, Ouagadougou, 15 p.
- [59] Fotso Kuatele A., Hanna R., Doumtsop Fotio A.R. P., Fomumbod Abang A., Nanga N.S., Ngatat S., Tindo M., Masso C., Ndemah R., Suh C., Mokpokpo Fiaboe K.K., 2019: *Spodoptera frugiperda* Smith (Lepidoptera: Noctuidae) in Cameroon: Case study on its distribution, damage, pesticide use, genetic differentiation and host plants, *PLoS ONE* 14 (4): e0215749.
- [60] Sun, X., Hu, C., Jia, H., Wu, Q., Shen, X., Zhao, S., Jiang, Y., Wu, K., 2021. Case study on the first immigration of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* invading into China. *Journal of Integrative Agriculture* 2021, 20 (3): 664–672. DOI: 10.1016/S2095-3119 (19) 62839-X.
- [61] Bariw, S.A., Kudadze, S. & Adzawla, W., 2020. Prevalence, effects and management of fall army worm in the Nkoranza South Municipality, Bono East region of Ghana, *Cogent Food & Agriculture*, 6: 1, 1800239. DOI: 10.1080/23311932.2020.1800239.
- [62] Hailu, G., Niassy, S., Zeyaur, K.R., Ochatum, N., Subramanian, S., 2018. Maize–legume intercropping and push–pull for management of fall Armyworm, Stemborers, and Striga in Uganda. *Agron. J.* 110 (6), 2513–2522. DOI: 10.2134/agronj2018.02.0110.
- [63] Vennila, S., Wang, Z., Young, K., Khurana, J., Cruz, I., Chen, J., Reynaud, B., Delatte, H., Baufeld, P., Rajan, Roversi, P.F., Gargani, E., Otuka, A., Kobori, Y., Tabata, Y., Sasaki, M., Park, H., Gwan-Seok, AlJabr, L.M., Al-Khateeb, S.A., Meagher, R., Balan, R.K., Day, R., Boddupalli, P., AlDobai, S., Tagliati, E. and Elkahky, M., 2019. G20 Discussion group on: ‘Fall Armyworm *Spodoptera frugiperda* (J.E.Smith) [Lepidoptera: Noctuidae]’. International Workshop on Facilitating International Research Collaboration on Transboundary Plant Pests, Tsukuba, Ibaraki, Japan, 34 p.
- [64] Zhang, D., Zhao, S., Wu, Q., Li, Y., Wu, K., 2021. Cold hardiness of the invasive fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* in China. *Journal of Integrative Agriculture* 2021, 20 (3): 764–771. DOI: 10.1016/S2095-3119 (20) 63288-9.