

Revue des principaux résultats des travaux de recherche sur la chenille légionnaire d'automne *Spodoptera frugiperda* J.E. Smith en Afrique

[Review of research main results on the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* J.E. Smith in Africa]

Souleymane Laminou^{1,2}, *Ousmane Zakari Moussa*³, *Laouali Amadou*², and *Ibrahim Baoua*¹

¹Université Dan Dicko Dankoulodo de Maradi, Niger

²Institut National de la Recherche Agronomique, Laboratoire d'Entomologie II de Maradi, Niger

³Université Abdou Moumouni de Niamey, Faculté d'Agronomie, Niger

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 fall armyworm (*Spodoptera frugiperda* J.E. Smith), was first reported in sub-Saharan Africa in January 2016 in Nigeria, Sao Tome, Benin and Togo. Shortly after its introduction, its presence was confirmed in more than thirty countries on the African continent. This rapid spread associated with its polyphagy and voracity confirms its status as a major pest that feeds on the leaves and stems of over eighty (80) plant species. This situation constitutes a serious threat to African agriculture and more precisely to the food and nutritional security of the populations of the affected countries. The major hosts of *Spodoptera frugiperda* are maize (*Zea mays*), sugarcane (*Saccharium officinarum*), and sorghum (*Sorghum bicolor*) and rice (*Oriza sativa*). Studies reveal that damage by this moth is most severe on maize where all parts of the plant are attacked causing yield losses ranging from 15 to 73% when 55 to 100% of the plants were attacked. This review provides an update on research on *Spodoptera frugiperda* in Africa with particular emphasis on its bioecology, host plants, economic importance and different methods of infestation management. Significant research work has been carried out in Africa since the detection and expansion of CLA in Africa. The analysis of the results of this work attests to a better knowledge of this lepidopteran, which has allowed the design of several management strategies for CLA. Among these strategies, agroecological management, the push-pull approach, the use of pheromone traps and resistant varieties, chemical control with Dimethoate and Deltamethrin and biological control with parasitoids, in particular *Telenomus sp.*, *Trichogramma sp.* for ovoparasitoids and *Cotesia icipe* for larval parasitoids, have been widely tested.

KEYWORDS: Fall armyworm, biology, incidence, control, parasitoid.

RESUME: La chenille légionnaire d'automne (*Spodoptera frugiperda* J.E. Smith), a été signalée pour la première fois en Afrique subsaharienne en janvier 2016 au Nigeria, à Sao Tomé, au Benin et au Togo. Peu de temps après son introduction, sa présence a été confirmée dans plus de trente pays du continent africain. Cette propagation rapide associée à sa polyphagie et sa voracité confirme son statut de ravageur majeur qui se nourrit des feuilles et tiges de plus de quatre-vingt (80) espèces végétales. Cette situation constitue une menace sérieuse pour l'agriculture africaine plus précisément la sécurité alimentaire et nutritionnelle des populations des pays affectés. Les plantes hôtes majeurs de *Spodoptera frugiperda* sont le maïs (*Zea mays*), la canne à sucre (*Saccharium officinarum*), le sorgho (*Sorghum bicolor*) et le riz (*Oriza sativa*). Des études révèlent que les dégâts de cette noctuelle sont plus sévères sur le maïs où toutes les parties de la plante sont attaquées provoquant ainsi des pertes de rendement allant de 15 à 73% lorsque 55 à 100% des plants étaient attaqués. La présente synthèse fait le point sur les travaux de recherche effectués sur *Spodoptera frugiperda* en Afrique avec un accent particulier sur sa bio-écologie, ses plantes hôtes, son importance économique et les différentes méthodes de gestion des infestations. D'importants travaux de recherche ont

été réalisés en Afrique depuis la détection et l'expansion de la CLASur le continent. L'analyse des résultats de ces travaux attestent une meilleure connaissance de ce lépidoptère, ce qui du reste a permis la conception et le développement de plusieurs stratégies de gestion de la CLA. Parmi ces stratégies la gestion agro écologique, l'approche push-pull, l'utilisation des pièges à phéromone et des variétés résistantes, la lutte chimique avec le Dimethoate et la Deltametrine et la lutte biologique avec des parasitoïdes en particulier *Telenomus sp*, *Trichogramma sp* pour les ovo parasitoïdes et *Cotesia icipe* pour les parasitoïdes larvaires ont été largement testés.

MOTS-CLEFS: Chenille légionnaire d'Automne, biologie, incidence, lutte, parasitoïde.

1 INTRODUCTION

L'un des grands défis des pays subsahariens est le développement du secteur agricole afin d'assurer la sécurité alimentaire et réduire la pauvreté. L'agriculture, dans le tiers monde et surtout en Afrique subsaharienne, reste traditionnelle et est caractérisée par une faible productivité. Ceci constitue la principale cause de pauvreté dans ces pays où les problèmes de déficits alimentaires et nutritionnels se posent avec acuité [1]. Parmi les plantes cultivées, les céréales sont une importante source d'énergie dans l'alimentation mondiale notamment, le maïs (*Zea mays*), le riz, le blé, le sorgho et le millet [2]. Malheureusement, au cours des dernières années, la production des céréales est entrain de diminuer [2]. Plusieurs facteurs sont à la base de cette situation. Il s'agit, notamment, de la modification des conditions agro écologiques, en particulier le climat (température, humidité, etc.) qui favorisent l'émergence des bioagresseurs telle que *Spodoptera frugiperda* [2], [3]. Dans la grande partie de l'Afrique, les conditions climatiques sont très favorables à l'émergence du bio agresseur (*Spodoptera frugiperda* J. E. Smith) [4].

Spodoptera frugiperda (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), ou la chenille légionnaire d'automne, est un insecte vorace et très polyphage [5], [6] qui forme de grandes populations et à un niveau de propagation très élevé. C'est un bio agresseur extrêmement dangereux; l'un des plus destructeurs du continent américain [6]. Il se nourrit sur plus de 80 espèces végétales appartenant à 27 familles, parmi ceux, des cultures vivrières notamment le maïs, le riz, le sorgho, le mil; des cultures de rente comme le coton, l'arachide, la canne à sucre, l'oignon, entre autres [7], [8], [9]. En raison de sa capacité à se propager rapidement et à infliger des dégâts étendus à plusieurs cultures, la chenille légionnaire d'automne menace gravement la sécurité alimentaire et nutritionnelle et les moyens de subsistance de millions de ménages agricoles en Afrique subsaharienne [10], [11], [8], [12]. Au Sénégal, en dehors de toute méthode de lutte, le bio agresseur peut entraîner des pertes de rendement en maïs de 8,3 à 20,6 millions de tonnes par an et ses pertes sont estimées entre 2,5 et 6,2 milliards de dollars US [13]. A l'échelle du continent, les pertes de récoltes causées par la CLA chaque année s'élèvent à environ 16 milliards de dollars [14]. Face à ces nombreux dégâts, les producteurs ne font recours dans leur quasi-totalité à l'usage des pesticides chimique [12], [92].

Une utilisation responsable des pesticides suppose, la réduction et la gestion des risques liés aux différentes sources de contamination [15].

Il s'agit à travers cet article de synthèse de comprendre le statut de la CLA en Afrique. Pour se faire, il convient de:

- 1) Connaître le niveau de dispersion de la CLA en Afrique, étant donné que le bio agresseur a une forte capacité de propagation;
- 2) Comprendre le cycle biologique du bio agresseur en fonction des réalités climatiques qui diffèrent souvent d'un pays à l'autre dans le même continent;
- 3) Discuter les différentes méthodes de luttés, leurs avantages et les inconvénients afin de ressortir dans la gamme, de méthodes de luttés plus efficaces

2 ORIGINE ET DISPERSION GEOGRAPHIQUE DE LA CLA EN AFRIQUE

La Chenille Légionnaire d'Automne (CLA) tire ses origines de la zone tropicale de l'Amérique, notamment l'Amérique du Nord et subtropicale comme le Canada (des provinces de l'est au Manitoba), Etats-Unis, Mexique [16], [17]. Elle ne devient abondante dans ces états qu'à l'automne, d'où son nom de légionnaire d'automne. De son aire d'origine, la CLA s'est répandue dans le monde entier [18].

Elle a été signalée pour la première fois en Afrique en 2016, dans les pays comme le Nigéria, la Sao Tomé, le Bénin, le Togo. [19], [20], [21], [22], [23], [24]. Dans la même année, le bio agresseur a été confirmé au Ghana [25] et au Zimbabwe [15] et des

signalisations ont été enregistrées au Malawi, au Mozambique, en Namibie, en Afrique du Sud et en Zambie [26] en 2016. A la même date, elle a été signalée au Burundi, en Coté d'Ivoire [27] en Ethiopie, au Burkina Faso, au Mali, mais aussi dans le département de Torodi et la région de Dosso au Niger [24].

Au 30 janvier 2018, la CLA a été détectée et signalée dans beaucoup des pays de l'Afrique subsaharienne [16] sauf Djibouti et le Lesotho.

En septembre 2018, toute l'Afrique subsaharienne était plus ou moins envahi (c'est-à-dire que 44 pays ont confirmé la présence de la chenille légionnaire d'automne). Guinée équatoriale et Gabon suspectent sa présence, mais sans confirmation officielle, tandis que le Lesotho, l'Érythrée et Djibouti ont indiqué l'absence de la CLA [11], [28].

3 MOYENS DE DEPLACEMENT ET DE DISPERSION

La CLA est une espèce à forte capacité de migration de façon régulière dans les Amériques. Tous les étés, le bio agresseur se disperse à travers les Etats-Unis et vole jusqu'au sud du Canada. La migration est une stratégie de survie de cette espèce. [23] relève que le papillon peut parcourir plus de 200km de distance en une nuit. Des imagos ont été signalés aux Etats-Unis, ayant utilisé un courant aérien de basse altitude qui les transporta du Sud des Etats-Unis d'Amérique au Canada en 30 h [17]. Les chenilles de *Spodoptera frugiperda* se comportent souvent comme des légionnaires ou la dispersion locale s'effectue avec succès au début de l'automne, ce qui permet de réduire la mortalité larvaire [17].

A l'instar des autres papillons du genre *Spodoptera*, la chenille légionnaire d'automne (*Spodoptera frugiperda*) ont aussi des comportements migratoires et de dispersion beaucoup plus localisée [8]. Les papillons peuvent migrer sur plus de 500 km (300 miles) avant la ponte et lorsque la direction du vent est favorable, les papillons peuvent se déplacer sur de plus grandes distances pouvant aller jusqu'à 1600 km de vol en une nuit [29], [8].

Les larves se dispersent en général par les biais des frets aériens dans les continents et les pays, sur des légumes ou fruits en provenance du continent américain et parfois sur des plantes herbacées utiles [30]. [31] a expliqué aussi que la dispersion de la CLA peut s'effectuée d'un épi contaminé à l'autre pour envahir toute une superficie et aussi à sa grande capacité de migration [17].



Fig. 1. Dispersion de la CLA en Afrique

4 DIFFÉRENTE ESPÈCE DE SPODOPTERA

La littérature consultée a fourni trente-cinq (35) différentes espèces appartenant toutes au genre *Spodoptera*. Ces espèces sont les suivantes:

- | | | |
|--|---|---|
| (1) <i>Spodoptera albula</i> (Walker, 1857) | (15) <i>Spodoptera hennia</i> (Swinhoe, 1901) | (26) <i>Spodoptera pecten</i> (Guenée, 1852) |
| (2) <i>Spodoptera androgea</i> (Stoll in Cramer, 1782) | (16) <i>Spodoptera hipparis</i> (Druce, 1887) | (27) <i>Spodoptera pectinicornis</i> (Hampson, 1895) |
| (3) <i>Spodoptera apertura</i> (Walker, 1865) | (17) <i>Spodoptera latifascia</i> (Walker, 1856) | (28) <i>Spodoptera picta</i> (Guérin-Méneville, 1838) |
| (4) <i>Spodoptera cilium</i> (Guenée, 1852) | (18) <i>Spodoptera littoralis</i> (Boisduval, 1833) | (29) <i>Spodoptera praefica</i> (Grote, 1875) |
| (5) <i>Spodoptera compta</i> (Walker, 1869) | (19) <i>Spodoptera litura</i> (Fabricius, 1775) | (30) <i>Spodoptera pulchella</i> (Herrich-Schaffer, 1868) |
| (6) <i>Spodoptera cosmioides</i> (Walker, 1858) | (20) <i>Spodoptera malagasy</i> (Viette, 1967) | (31) <i>Spodoptera roseae</i> (Schaus, 1923) |
| (7) <i>Spodoptera depravata</i> (Butler, 1879) | (21) <i>Spodoptera marima</i> (Schaus, 1904) | (32) <i>Spodoptera teferii</i> (Laporte, 1984) |
| (8) <i>Spodoptera descoinsi</i> (Lalanne-Cassou & Silvain, 1994) | (22) <i>Spodoptera mauritia</i> (Boisduval, 1833) | (33) <i>Spodoptera trajiciens</i> (Walker, 1865) |
| (9) <i>Spodoptera dolichos</i> (Fabricius, 1794) | (23) <i>Spodoptera obstans</i> (Walker, 1865) | (34) <i>Spodoptera triturrata</i> (Walker, 1857) |
| (10) <i>Spodoptera eridania</i> (Stoll, 1782) | (24) <i>Spodoptera ochrea</i> (Hampson, 1909) | (35) <i>Spodoptera umbraculata</i> (Walker, 1858) |
| (11) <i>Spodoptera evanida</i> (Schaus, 1914) | (25) <i>Spodoptera ornithogalli</i> (Guenée, 1852) | |
| (12) <i>Spodoptera exempta</i> (Fabricius, 1775) | | |
| (13) <i>Spodoptera exigua</i> (Hubner, 1808) | | |
| (14) <i>Spodoptera frugiperda</i> (J. E. Smith) | | |

Source : [32]

Parmi ces espèces, trois (3) sont couramment appelés des légionnaires [32] dont le tableau 1 ci-dessous donne quelques caractéristiques propres qui permettront de les différencier facilement.

Tableau 1. Quelques caractéristiques biologiques des chenilles légionnaires

Espèce	Nom commun	Origine	Distribution	Caractéristiques des œufs	Caractéristiques de la chenille	Photo imago male	Imago <i>S. frugiperda</i>
<i>Spodoptera exempta</i>	Chenille légionnaire africaine	Afrique	Afrique au sud du Sahara, Madagascar, Asie du sud [33]	Légèrement plus petits (0,5 mm), blanchâtres à la ponte et deviennent noirâtres à l'approche de l'éclosion [33]	La chenille est munie de poils sur sa face dorsale, de couleur verdâtre et deviennent noirs bleuâtre avec des fines lignes longitudinale jaunâtre sur le latérale [33]. La chenille a 5 stades larvaires [35].	 <p>Male</p> <p>Source [33]</p>  <p>Femelle</p>	 <p>Femelle [36]</p>
<i>Spodoptera exigua</i>	La légionnaire de la betterave	Asie du Sud-Est [37]	Sud moitié des États-Unis jusqu'au nord [37]	L'œuf est légèrement pointu, effilé vers un point de couleur verdâtre à blanche. [37]	Absence des points noirs sur le dos comme chez la légionnaire [33]. 5 Stades larvaires [37]. Les larves sont de couleur vert pâle ou jaune pendant le premier et deuxième stade, mais acquièrent des rayures pâles pendant le troisième stade [37].	 <p>Male</p>  <p>Femelle</p> <p>Source: [38]</p>	 <p>Male [33]</p>

5 CARACTERISTIQUES MORPHOLOGIQUES DE *S. FRUGIPERDA* (J. E. SMITH)

5.1 ŒUF

Les œufs sont grisâtres, petits et subsphérique, ils sont pondus la nuit à la surface des feuilles en amas de 100-300 œufs [17], [39] et selon [16] et [33] la capacité de ponte varie de 150 à 300 œufs; de 5 à 10 mm de diamètre [39] parfois en deux couches.

En France, [17] ont eu 0,75 mm de diamètre pour les œufs et ses résultats sont confirmés par [41] et [33] à Burundi. Les femelles peuvent pondre jusqu'à 1000 œufs chacune [39]. Le maximum de la ponte de la CLA s'effectue dans la première semaine dans les 4 à 5 premiers jours [17]. Ces masses d'œufs, très souvent recouvertes de poils et d'écailles, peuvent être pondues par la femelle sur toutes les parties du plant de maïs [17]. La durée entre la ponte et l'éclosion varie de 2 à 10 selon la température [39]. La [16] estime qu'une femelle noctuelle peut pondre 6 à 10 masses d'œufs de 100 à 300 œufs chacune, ce qui donne un maximum de 1 500 à 2 000 au cours de sa vie de 2-3 semaines et les mêmes résultats sont confirmés en 2019 par [33].

Ces résultats montrent que la taille des œufs, la forme des œufs, la couleur des œufs la capacité de ponte des femelles et leur durée de vie pour la ponte varie fortement en fonction des conditions climatiques d'un pays à l'autre.

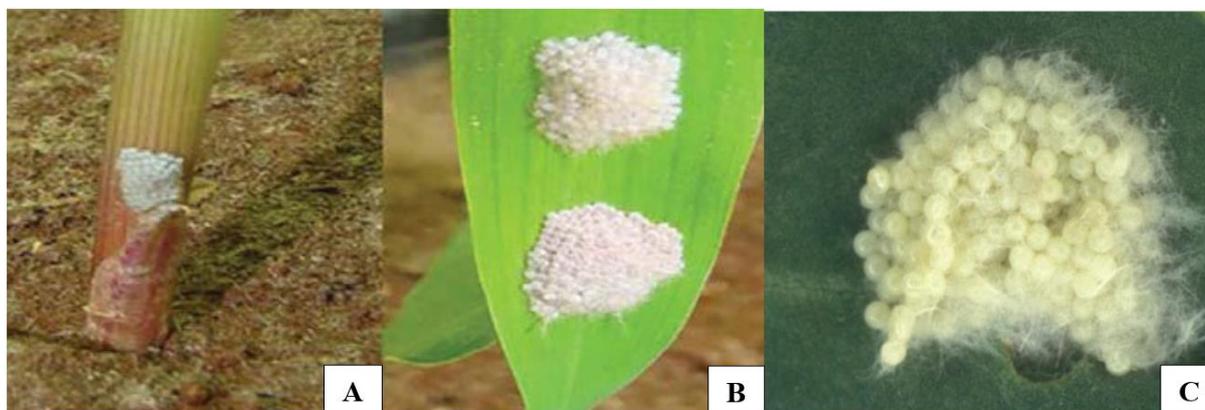


Fig. 2. A: Amas d'œufs sur la tige, B: deux (2) amas d'œufs la feuille, C: Amas d'œuf recouvert des cailles [8]

5.2 LES CHENILLES

Les jeunes chenilles mesurent de 1,7 à 3,5 mm et se caractérisent par une tête noire et le corps jaune-vert avec des tubercules (saillies) noirs [17]. Les larves matures mesurent jusqu'à 30 mm [39]. La longueur de la larve développée peut aller selon [42] de 35-40 mm. La grande larve ou chenille, dispose d'une marque jaune en Y inversé sur la tête, à travers laquelle, elle est facilement identifiable, des pinacles dorsaux noirs portant de longues soies primaires (deux de chaque côté de chaque segment) et quatre taches noires disposées en carré sur le dernier segment abdominal [46], [43]. Il y a généralement six stades larvaires, cinq à l'occasion [49]. L'étude menée par [44] sur la largeur de la capsule céphalique des stades larvaires ont montré six pics de fréquence, représentant six stades larvaires.

La durée moyenne de développement de la phase larvaire est de 14 jours au Sénégal [13] alors qu'elle est de 21 jours à 25 °C et de 11 jours à 25 °C pour les larves nourries au maïs [45]. La durée de la phase larvaire dépend des conditions et de la plante hôte. Le stade larvaire est le stade le plus redouté du ravageur *S. frugiperda* [13], [93].



Fig. 3. chenilles (larves) de la CLA avec des marques distinctives encerclées en rouge. Source [8]

5.3 LES CHRYSALIDES

La chenille s'enfouit ensuite de 2 à 8 cm dans le sol avant la pupaison. La chrysalide (photo 4), de forme ovale allongée, lisse et brune est de 20 à 30 mm en longueur. Si le sol est compacté, la chenille se couvre de débris de feuilles avant la pupaison [16] et [47]. Cependant si les conditions sont favorables, la chenille peut devenir chrysalide dans la corné du maïs (photo 3) ou dans l'aisselle des feuilles (photo 5). En effet, la photo3 a été prise à Doungou (Région de Zinder au Niger) lors de la collecte des données et la photo 5 à Djirataoua (Région de Maradi au Niger).



Fig. 4. chrysalide dans la corne du maïs



Fig. 5. Chrysalide. Source [8]



Fig. 6. *Chrysalide dans l'aisselle du maïs*

5.4 LES ADULTES

Les adultes sont des papillons au corps brun, de 30 à 38 mm d'envergure [46], [49]. Les ailes antérieures sont plus sombres chez le mâle avec des marques sombres et des bandes pâles et grises à gris-brun chez la femelle, les ailes postérieures sont blanches [49]. Il est à noter que l'activité d'accouplement a lieu entre 18h00 et 4h00, tandis que l'activité de ponte a lieu entre 18h00 et 22h00. La plupart des éclosions ont lieu entre 00h00 et 02h00 [46].

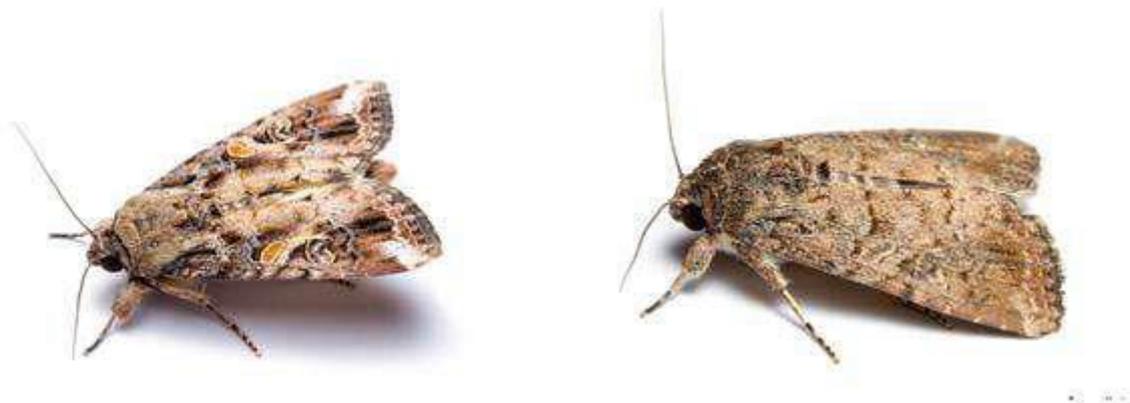


Fig. 7. *Male de Spodoptera frugiperda au repos à gauche et femelle à droite. Source [22]*

6 INCIDENCE DE LA CLA

6.1 SYMPTÔMES

La chenille de la CLA attaque pratiquement toutes les différentes parties du maïs. Elles provoquent sur les feuilles des masses de trous consommant parfois la quasi-totalité de la feuille [47]. Les jeunes chenilles, dévorent et rendent les limbes foliaires 'squelettiques'. Les jeunes plantes de moins de 30 jours, plus appréciées, peuvent être coupées à la base par les grandes chenilles dont les dégâts ressemblent à celui des vers gris (*Agrotis spp.*) [17].

Les épis des plantes plus âgées peuvent être attaqués par les chenilles de la CLA, qui creusent entre les grains. Si les densités sont élevées, les grandes chenilles se comportent aussi comme légionnaires et se dispersent en essaims, mais elles ont une certaine affinité aux graminées herbacées [17].

6.2 PLANTES-HÔTES

Ravageur très polyphage, attaquant plus de 80 espèces, *Spodoptera frugiperda* présente une nette affinité pour les jeunes plans des céréales, notamment le riz et le maïs [5], [6], [21], [16], [17], [48], [8]. Selon [48], il est considéré comme un super organisme nuisible en raison de sa gamme d'hôtes (au moins 353 plantes hôtes), de sa capacité inhérente à survivre dans un large éventail d'habitats, sa forte capacité de migration, sa fécondité élevée, le développement rapide de la résistance aux insecticides/virus et ses caractéristiques gloutonnes.

La chenille légionnaire est constamment signalée sur les graminées, mais aussi sur plusieurs spéculations maraîchères. En général, les larves sont étroitement liées à la plante-hôte sur laquelle elles se sont alimentées en premier, ou très souvent la plante sur laquelle les œufs ont été pondus [16].

6.3 IMPACT ÉCONOMIQUE

En août 2016, la presse Béninoise avance le chiffre de 30.000 à 40.000 ha de maïs détruits dans les régions du Nord Bénin. La chenille a également fait d'importants dégâts au Nigeria et au Togo [23]. Ses dégâts sont évalués à 400 millions de dollars par an au Brésil où elle est considérée comme le principal ravageur de cette culture [23]. Aux Etats unis, les infestations de la CLA peuvent induire des pertes en rendements allant de 5,4 à 73% durant le stade de développement du maïs lorsque 55 à 100% des plants étaient infestés par *S. frugiperda* [49].

Les infestations de la CLA provoquent des pertes en rendement entre 22 % et 67 % respectivement au Ghana et en Zambie, entraînant des pertes en millions de dollars américains [50]. De la même manière, [16] a estimé l'impact de la CLA à 32 % des rendements en Éthiopie et à 47 % en Kenya. Ces estimations sont cependant basées sur des enquêtes socio-économiques axées sur les perceptions des agriculteurs, mais pas sur des méthodes rigoureuses de dépistage sur le terrain [51].

Les coûts déclarés des invasions de la CLA varient entre 18,2 milliards de dollars américains (USD) et 78,9 milliards USD entre les années 1970 et 2020 de façon générale en Afrique. Cela représente une perte économique énorme, mais malheureusement très sous-estimée et en plus ces coûts augmentent au fil du temps [52].

Au Cameroun, les pertes de rendement annuel sont estimées entre 15 et 78%, évaluée à US\$ 2 481 à 6 187 millions de dollars [53].

[54], montre dans une étude que les producteurs de Kipushi (Congo) sont très pauvre par rapport au seuil du PNUD de 1,25 USD/personne/jour, et en plus de cela vient s'ajouter le problème de la CLA. Selon les résultats trouvés par [55], les faibles performances des petites exploitations pourraient s'expliquer par les attaques de la chenille légionnaire et par la faible efficacité des techniques et méthodes de lutte adoptées par ces agriculteurs. Selon le Centre international pour l'agriculture et les biosciences [56], la RD Congo a perdu 74,5 millions USD à cause de l'invasion de la chenille légionnaire en 2018. Cependant, en Afrique, 12 pays pourraient perdre entre 3,6 et 6,2 millions USD par an pour la même cause [56].

7 METHODES DE LUTTE CONTRE LA CLA

7.1 LUTTE AGRONOMIQUE

7.1.1 AJUSTEMENT DE LA PERIODE DE SEMIS

L'étude a été réalisée au Benin par [57]. Il a été utilisé comme traitement, le semis précoce (15 Mai – 15 Juin), le semis normal (15 Juin – 15 Juillet) et le semis tardif (15 Juillet – 30 Juillet). Les résultats montrent que le semis précoce a été meilleur en termes de croissance végétative, de rendement en grain et surtout permet un meilleur contrôle de la légionnaire. Cependant les plants issus du semis tardif ont présenté un taux d'infestation de 96 %. La plantation précoce est donc une méthode culturelle appliquée pour lutter contre la CLA [53].

7.1.2 ASSOCIATION DES CULTURES

Les infestations de la CLA sont plus importante en monoculture qu'en cultures associée, en Ouganda, la monoculture de maïs a enregistré 95 % d'infestation contre 65 %, 74 % et 64 % enregistrés pour les cultures associées de haricot, de soja et d'arachide, respectivement [58], [53]. La disparité observée est probablement due à la morphologie des cultures, à l'écosystème et aux pratiques de gestion [59], [53].

[60] ont trouvé que la culture intercalaire et la rotation des cultures ont un impact favorable dans la réduction des infestations de la CLA de 2 fois et 3 fois plus élevé par rapport à la culture associée sans rotation. L'abondance d'infestation des adultes et des larves de CLA variait significativement aussi avec la phénologie de la culture, les infestations sont plus élevées aux stades végétatif et de reproduction et faible au stade de maturité.

Il est à retenir aussi que l'infestation de CLA baisse lorsque les précipitations étaient à leur maximum, puis augmentait lorsque les précipitations diminuaient. Cette tendance a été observée en Éthiopie, au Kenya, en Ouganda et au Rwanda [60].

La diversification de plants dans une même parcelle crée la confusion chez *Spodoptera frugiperda* et perturbe la ponte des œufs; il peut être associé le maïs et le manioc par exemple [47].

7.1.3 TECHNIQUE DE PUSH PULL

[47], [48] ont réalisé des études dans presque toute l'Afrique de l'Est sur les producteurs qui ont complètement mis en œuvre l'approche « Push-Pull » avec l'usage de *Desmodium sp* et *Pennisetum purperum*. Ils sont parvenus à des résultats selon lequel, la pratique « push-pull » réduit les infestations de la chenille légionnaire d'automne et les dommages aux cultures dans l'ordre de 86% (baisse des infestations), avec une augmentation de rendement de 2,7 fois de plus par rapport aux champs voisins qui n'ont pas mis en œuvre l'approche « Push-pull ».

D'après [61], 250 agriculteurs choisis au hasard avaient testé la technologie dans les zones plus sèches du Kenya, de l'Ouganda et de Tanzanie; à l'issue de l'étude, il a été trouvé un taux de réductions de 82,7% du nombre moyen de larves par plante et de 86,7% des dommages aux plantes dans les parcelles push-pull adaptées au climat par rapport aux parcelles de monoculture de maïs. Il a été rapporté par [62] dans une étude réalisée pour évaluer l'efficacité sur le terrain des systèmes Push-Pull pour *S. frugiperda* que les espèces les plus utilisées comme Push sont les suivantes:

- *Brachiaria hybrid*
- *Panicum maximum* souche de Mombasa;
- *Panicum maximum* souche de Tanzanie

Ensuite les espèces suivantes leurs sont associées en pull:

- *Crotalaria juncea*;
- *Tagetes erecta*;
- *Dysphania ambrosioides*

Le push-pull système de culture fournit une protection et améliore la nutrition du maïs. Le push-pull est une alternative contre l'usage des insecticides de synthèse et fournit les mêmes résultats que l'usage des biopesticides [53]. [91] a trouvé aussi que la technologie push-pull a augmenté les rendements de maïs et du coût a contribué à la réduction du nombre de personnes considérées comme pauvres dans l'ouest du Kenya.

7.1.4 LA PRÉ-PLANTATION TRADITIONNELLE

En utilisant certaines mesures tel le labour profond, la pré-plantation traditionnelle peut diminuer la population de la chenille légionnaire d'automne en exposant les pupes au soleil et aux oiseaux prédateurs [8]. Cette méthode de lutte s'avère difficile à être appliquée à large échelle et de surcroît la situation socioéconomique des producteurs dans les pays en voie de développement ne favorise pas la pratique.

7.2 LUTTE MÉCANIQUE

A travers les pièges à phéromone, les papillons males de la CLA sont attirés et capturés. La présence des males aux pièges à phéromone montre la présence de la CLA dans la localité et l'observation régulière des plants permettra sans nul doute de déceler les pontes et les premiers signes d'attaque des chenilles [17].

De nos jours, il existe plusieurs types de leurres à phéromones utilisés dans les pièges pour la capture de la légionnaire d'automne [8]. Cependant certains leurres à phéromone attirent qu'un nombre limité des papillons et souvent même autres types de lépidoptère qui sont pas *S. frugiperda* et cela créer une certaine confusion dans la collecte.

7.3 LUTTE CHIMIQUE

7.3.1 SEUIL D'INTERVENTION

Le seuil d'intervention est réalisé quand 20% des verticilles de jeunes plantes sont infestées ou lorsque 5% des plantules sont coupées à la base par la légionnaire d'automne [48]. D'après [47], le seuil de nuisibilité économique pour la chenille légionnaire d'automne est de: i): 20 % des plants attaqués avant la floraison; ii): 40 % des plants attaqués après la floraison.

7.3.2 USAGE DES PRODUITS CHIMIQUES DE SYNTHÈSES

Les efforts de lutte jusque-là engagés par les agriculteurs se limitant au ramassage des chenilles, arrivent quelque peu à l'utilisation de produits chimiques inefficaces tels que le Dursban 4 E, le Diméthoate 40EC, Delthamétrine 2,5EC, Acelamectine [16]. Mais [16] précise que le recours aux pesticides devrait être l'option de dernier recours dans le respect de la lutte intégrée pour éviter des éventuelles intoxications humaines et animales et la pollution de l'environnement. Les produits homologués dans la gestion de la CLA sont l'orthène 755P, Cyperméthrin 50EC et Dursban 3G [16].

Les pesticides chimiques les plus couramment utilisés par les agriculteurs de l'Afrique de l'Est de façon général pour le contrôle de la chenille légionnaire d'automne sont l'alpha-cyperméthrine (pyréthroïde), chlorpyrifos et malathion (organophosphorés) et lufénuron (insecticide benzoylurée) [60].

En Afrique de l'Ouest, les producteurs appliquent des traitements insecticides en utilisant des pyréthroïdes (Deltaméthine et Lambda-cyhalothrine) et des organo-phosphorés (Chlorpyrifos et Dichlorvos). Ce sont tous des insecticides qui agissent par contact et inhalation [23]. Compte tenu de la localisation des chenilles à l'intérieur des plants de maïs ces traitements sont vraisemblablement d'une efficacité faible. L'utilisation de matières actives systémiques (Acétamipride par exemple) devrait être envisagée [23]

[56], montre la bonne performance d'Emacot 19 EC avec comme matière active émamectine benzoate dans une étude au Bénin. L'efficacité de cette matière active a été aussi approuvée par [64], [65], [66]...

[33] confirme aussi que les insecticides à base d'émamectine benzoate, méthomyl et chlorpyrifos-éthyl sont les plus efficaces pour lutter contre *S. frugiperda*, car les concentrations recommandées sont supérieures aux CL80. La probabilité d'échec de traitement est presque nulle. Par contre, la probabilité d'échec de traitement est très élevée (66 - 97%) avec l'abamectine, la deltaméthrine et la lambda-cyhalothrine [47].

7.3.3 RESISTANCE DE LA CLA FACE AUX PESTICIDES DE SYNTHÈSE

La CLA a développé de nombreuses résistances suite à l'usage des pesticides de synthèses en Amérique du Nord [17]. Cette résistance aux insecticides de synthèse peut être répandue dans certaines zones et la lutte peut donc s'avérer difficile [67].

[68] ont réalisé une étude sur la résistance de la CLA face aux pesticides de synthèse dans la zone subtropicale de la Chine. L'étude renseigne les résultats suivants: la CLA fait un rapport de résistance de 615- 1068 fois au chlorpyrifos, de 60 à 388 fois au spinosad, de 26 à 317 fois à la lambda-cyhalothrine, de 13 à 29- fois au malathion, 9 à 33 fois au fenvalérate, 8 à 20 fois à la deltaméthrine, 3 à 8 fois au benzoate d'émamectine et 1 à 2 fois à chlorantraniliprole. La concentration létale médiane (CL50) de six autres insecticides sans les valeurs de base était de 148,27 à 220,96 µg mL⁻¹ pour la bêta-cyperméthrine, de 87,03 à 128,43 µg mL⁻¹ pour le chlorfénapyr, de 16,35 à 99,67 µg mL⁻¹ pour l'indoxacarbe, 10,55–51,01 µg mL⁻¹ pour le phoxim, 7,08–8,78 µg mL⁻¹ pour le M-EBI (l'insecticide mixte de benzoate d'émamectine et indoxacarbe) [68].

[69] ont confirmé aussi dans leur étude sur la sensibilité de la CLA face aux pesticides de synthèses que la DL50 de l'émamectine et la deltaméthrine ont été plus efficaces avec respectivement 0,4 µg/g et 0,8 µg/g comparativement à la cyperméthrine, la lambda-cyhalothrine et le profenofos. [70] ont également approuvé l'efficacité de la matière active de l'émamectine sur la chenille légionnaire d'automne *Spodoptera frugiperda* en culture de maïs au Burkina Faso.

7.3.4 USAGE DES BIOPESTICIDES

Les plantes utilisées pour les pesticides botaniques sont le Neem, *Aglaia cordata* Hiern, *Annona mucosa* Jacquin, *Vernonia holosenicea*, poivre long (poivre hispidinervum), *Jatropha gossypifolia*, Castor (*Ricinus communis*), *Chromolaena chuseae*, *Cedrela salvadorensis*, *Cedrela dugessi*, Chinaberry (*Melia azedarach*) [53]...

[63] ont testé deux savons de ménage (« Palmida » et « Koto ») et une lessive (« So Klin ») pour leur efficacité contre les larves dans des conditions de laboratoire. Les savons et la lessive étaient sur les chenilles de deuxième, stade hautement toxiques avec des concentrations létales sur 24 h (CL50) de 0,46 %, 0,44 % et 0,37 % pour So Klin, Koto et Palmida, respectivement. En conditions de terrain, ces insecticides biorationnels ont produits un contrôle similaire ou meilleur qu'Emacot 19 EC (pesticide de synthèse avec emamectine benzoate comme matière active). En somme, ces produits biorationnels méritent d'être testés dans d'autres pays de la sous-région pour confirmer l'efficacité de l'usage dans le contrôle du bio agresseur.

Afin toujours de limiter l'utilisation d'insecticides de synthèse non homologués sur les cultures vivrières, avec ses conséquences sur la santé humaine et l'environnement, l'effet de certains insecticides semi-organiques et botaniques a été évalué sur *S. frugiperda* sur maïs par [71].

Le biopesticide utilisé est le grain de Neem (l'azadirachtine 0,35 g/l) comparé à plusieurs matière active de pesticide de synthèse, le résultat final montre que le grain de Neem (36,36%, taux de réduction des plants attaqués) s'est comporté moins efficace par rapport à l'emamectine benzoate (54,86%) et spinétorame (70,77% produit semi-synthétique) au champ. Quant à l'expérience au laboratoire avec l'application direct du produit sur la chenille, le benzoate d'emamectine ($94,16 \pm 2,6$ % de taux de mortalités des chenilles) et l'azadirachtine ($80 \pm 9,3$ %) ont été plus efficace que spinétorame ($79,16 \pm 4,91$ %). [72] dans la caractérisation et l'évaluation de la toxicité des extraits de Neem, suggèrent que les deux extraits ont un grand potentiel en tant qu'insecticide naturel pour la lutte contre la chenille légionnaire d'automne. Cependant, l'efficacité des extraits aqueux de Neem n'est pas très appréciée par [73] qui ont testé des champignons entomopathogènes indigènes avec l'extrait aqueux de Neem dont un des entomopathogènes a fourni la meilleure protection contre la CLA. Par contre [40] ont obtenu des résultats satisfaisants dans l'usage du Neem (feuilles et écorce) avec un taux de mortalité moyen de 68,3% à 82,5% en champ par rapport au témoin sans traitement dont la mortalité a été de 6,6%.

7.4 LUTTE BIOLOGIQUE

La lutte biologique classique et de conservation est très efficace car il est efficace et s'effectue à moindre coût. En plus de cela, des études ont montré qu'il n'existe aucun cas de développement de la résistance chez la chenille de *Spodoptera frugiperda* aux agents de lutte biologique [8]. Il a été trouvé beaucoup de parasitoïdes parasitant les œufs et les chenilles de la CLA comme illustre le tableau ci-dessous. Les résultats de recherche compilés dans le tableau ci-dessous sont tous issus des inventaires sur le terrain, dans les champs des producteurs.

Tableau 2. Quelques parasitoïdes énumérés par la littérature

Pays	Localité/zone	Parasitoïde	Ordre: Famille	Stade parasité	Taux de parasitisme
Ethiopie	Hawassa, Jimma et Awash-Melkasa	<i>Cotesia icipe</i>	Hymenoptera: Braconidae	Chenille	37,6% [74]
	Hawassa et Awash-Melkasa	<i>Palexorista zonata</i>	Diptera: Tachnidae	Chenille	6 % [74]
	Jimma	<i>Coccygidium luteum</i>	Hymenoptera: Braconidae	Chenille	4,6% [74]
Kenya	Taita Taveta	<i>Charops ater</i>	Hymenoptera: Ichneumonidae	Chenille	12,3% [74]
	Kwalé	<i>C. luteum</i>	Hymenoptera: Braconidae	Chenille	8,3% [74]
	Homabay	<i>P. zonata</i>	Diptera: Tachnidae	Chenille	12,5 % [74]
	Transzoia	<i>Chelonus curvimaculatus</i>	Hymenoptera: Braconidae	Œuf	4,8% [74]
	Machakos	<i>C. icipe</i>	Hymenoptera: Braconidae	Chenille	5,6% [74]
Tanzani	Morogoro et Tanga	<i>C. ater</i>	Hymenoptera: Ichneumonidae	Chenille	8,5% [74]
	Tanga et Pwani	<i>C. luteum</i>	Hymenoptera: Braconidae	Chenille	5,0% [74]

Cameroun	Zone III, Zone IV et Zone V	<i>Telenomus remus</i>	Hymenoptera: Platygasteridae	Œuf	91% [75]
	Mbamayo	<i>Trichogramma chelonis</i>	Hymenoptera: Trichogrammatidae	Œuf	100% [75]
	Ntui	<i>C. luteum</i>	Hymenoptera: Braconidae	Chenille	0,5% [75]
	Zone V et Kumba	<i>Charops sp.</i>	Hymenoptera: Ichneumonidae	Chenille	1,13% [75]
	Edea, Pouma et Zone V	<i>C. icipe</i>	Hymenoptera: Braconidae	Chenille	2,24% [75]
	Kumba	<i>C. sesamiae</i>	Hymenoptera: Braconidae	Chenille	0,5% [75]
Ghana	Région orientale et Volta	<i>Chelonus bifoveolatus</i>	Hymenoptera: Braconidae	Œuf	11,75% [75]
	Région orientale, centrale et Volta	<i>Charops sp.</i>	Hymenoptera: Ichneumonidae	Chenille	1,0% [76]
	Région orientale	<i>C. icipe</i>	Hymenoptera: Braconidae	Chenille	0,4% [76]
	Région orientale, centrale et Volta	<i>C. luteum</i>	Hymenoptera: Braconidae	Chenille	9,2% [76]
Niger	Maradi	<i>Telenomus remus</i>	Hymenoptera: Platygasteridae	Œuf	33,79% en 2017 et 24,63 en 2018 [77]
		<i>Trichogramma sp</i>	Hymenoptera: Trichogrammatidae	Œuf	0,06% en 2017 [77]
		<i>Chelonus insularis</i>	Hymenoptera: Braconidae	Chenille	0,5% [77]
		<i>Charops ater</i>	Hymenoptera: Ichneumonidae	Chenille	0,25% [77]
	Région de Zinder	<i>Telenomus remus</i>	Hymenoptera: Platygasteridae	Œuf	9,88% [77]
		<i>Chelonus insularis</i>	Hymenoptera: Braconidae	Chenille	0,52% [77]
	Région de Tahoua (Konni)	<i>Telenomus remus</i>	Hymenoptera: Platygasteridae	Œuf	4,99% ([77]
		<i>Trichogramma sp</i>	Hymenoptera: Trichogrammatidae	Œuf	0,9% [77]
		<i>Chelonus insularis</i>	Hymenoptera: Braconidae	Chenille	0,5% [77]
	Région de Tillabery (Sadoré)	<i>Telenomus remus</i>	Hymenoptera: Platygasteridae	Œuf	14% [77]

Zone V = Bafia, Mbalmayo, Monatel, Ntui et Yaoundé

Zone IV = Kumbo, Kumba, Edea

Zone III = Fumbot

8 DISCUSSION

La chenille légionnaire d'automne est une véritable menace contre la sécurité alimentaire et nutrition en Afrique. L'incidence de cette chenille doit hanter le sommeil des décideurs, des chercheurs et des producteurs dans la recherche des voies et moyennes pour la gestion du ravageur. Originare des Amériques, de son apparition en 2016, elle a envahi la quasi-totalité du continent en deux (2) années seulement. La littérature montre qu'elle n'est présente qu'en Lesotho, Erythria et Djibouti [28]. L'Erythria et Djibouti, États de l'Afrique orientale, Djibouti est baigné par l'océan Indien à l'est et limité par la

Somalie au sud, par l'Éthiopie au sud et à l'ouest, par l'Érythrée au nord. La CLA est présente au Somali [10], [15], pays qui partage pourtant de frontière. L'absence de la CLA dans ses pays paraît très perplexe, il se peut qu'elle soit seulement mal documentée dans la littérature.

La CLA attaque pratiquement toutes les parties du maïs et à tous les stades de développement végétatifs, sauf qu'elle a des affinités aux jeunes plants tendre [47] et provoque des dégâts énormes entraînant ainsi une baisse notable des rendements [50] d'où l'abandon de la culture du maïs par certains producteurs Nigériens rencontrés sur le terrain lors de la collecte des données. Dans le souci d'améliorer le rendement pour répondre aux besoins alimentaires sans cesse croissant et y égard à la forte pression du bio agresseur, les producteurs font usage aux pesticides de synthèse [78], [79], [80].

[81], pour contribuer à une réduction considérable de la population de ces ravageurs suite au problème de développement de résistance, il faudra utiliser des insecticides beaucoup plus efficaces et effectuer une application rationnelle des pesticides tout en les changeant régulièrement. Mais, si l'application répétée des pesticides très toxiques peut réduire les populations des ravageurs des cultures, elle est loin d'être écologiquement et socialement saine et s'effectue à grand frais. Aussi, ces produits sont à l'origine de plusieurs cas d'intoxication et font selon les estimations de l'ONU, chaque année, 40.000 victimes, et provoquant des séquelles à environ 2.000.000 de personnes [82].

Plusieurs méthodes de lutte sont alors testées et développées pour arriver à un alternatif efficace et efficiente contre l'usage des pesticides de synthèses.

8.1 MÉTHODE DE LUTTE AGRONOMIQUE

Les méthodes de luttes agronomiques ou méthodes de lutte culturales consistent à manipuler les cultures et le sol afin de rendre l'environnement défavorable aux ravageurs. Elles peuvent avoir une grande influence sur les populations de ravageurs dans les champs soit en les tuant ou en ayant des effets néfastes sur leur fécondité et par la même limiter la gravité des dégâts sur les cultures. Elles doivent par contre fournir un environnement plus favorable aux ennemis naturels du ravageur. Il ressort de la synthèse bibliographique que la CLA est sensible à la période de semis, le système cultural, le labour profond pour déterrer les chrysalides et les exposer aux intempéries climatiques. Parmi les différentes pratiques de lutte culturale, la technique push-pull qui permet de réduire les infestations de la CLA dans l'ordre de 86% [48], [47] paraît plus prometteuse. La technique connue aujourd'hui sous le nom de « push-pull » (ou stimulo-dissuasif dérivation) a été documentée pour la première fois en tant que stratégie potentielle de lutte antiparasitaire en 1987 sur le coton et 1990 sur l'oignon.

Au fur et à mesure qu'elles commencent à être adoptées, les nouvelles technologies rencontrent souvent des obstacles imprévus. Les limites à l'usage de la technique push-pull peuvent se résumer comme suit: i) le desmodium demande beaucoup de travail pour s'établir car la parcelle nécessite un désherbage fréquent et approfondi, car la germination ne doit pas être surmontés par des adventices [83], ii) la technique est surtout adapté pour le petits exploitants disposant des petites superficies [84], iii) les stratégies push-pull sont généralement intégrées à la lutte biologique et à la lutte culturale pour une meilleure gestion des ravageurs [84].

8.2 METHODES DE LUTTE PHYSIQUE ET MECANIQUE

La lutte physique signifie l'élimination du ravageur ou la détérioration physique de son environnement de manière à le rendre inhospitalier ou inaccessible pour le ravageur. Ces méthodes n'ont pas joué un rôle important dans l'agriculture moderne de production à grande échelle surtout à cause de leur coût élevé en main-d'œuvre. Toutefois, en raison des effets secondaires des insecticides, les méthodes physiques peuvent constituer des solutions de remplacement intéressantes dans les pays en voie de développement, surtout si elles sont intégrées dans des programmes de lutte contre les ravageurs mais sur des petites superficies [85].

8.3 RÉSISTANCE VARIÉTALE

[86] Kumar (1991), La résistance représente la capacité inhérente à une variété culturale à restreindre, retarder ou surmonter les infestations du fait des ravageurs que d'autres variétés cultivées dans des conditions d'environnement et de stade de développement comparable. Le terme de résistance est relatif et ne peut être défini qu'en fonction de l'ensemble des variétés d'une espèce. La résistance variétale du maïs contre la CLA est en train d'être développé surtout dans les pays développés. Les résultats fournis par la littérature ne montrent surtout pas l'impact d'une variété créée en Afrique efficace contre la CLA. Cependant, cette résistance variétale paraît plus prometteuse dans la gestion préventive des maladies des cultures [17].

8.4 MÉTHODE DE LUTTE BIOLOGIQUE

De façon stricto sensu, il est désigné par "Lutte biologique" L'utilisation des organismes vivants en tant qu'agents de lutte contre les ravageurs et d'une manière plus large on pourra dire que la lutte biologique c'est l'ensemble des méthodes qui font appel à des êtres vivants pour réduire ou supprimer les dégâts dus à des espèces animales nuisibles à l'homme et aux cultures. Ainsi certains auteurs citent l'utilisation des substances attirant les insectes, la production et le lâcher des mâles stériles ou la sélection de plantes résistantes aux ravageurs [87].

Il existe une gamme des plantes utilisées dans la gestion et le contrôle des insectes ravageurs. Au Niger, [88] ont recensé 28 espèces des plantes pesticides utilisées dans la gestion des insectes. Parmi ces espèces, le grain de Neem a été le plus testé pour le contrôle du ravageur mais dont l'efficacité reste à désirer pour beaucoup des publications. L'efficacité des grains de Neem a été surtout énumérée pour les études au laboratoire. Cependant des études supplémentaires doivent être faites pour confirmer ou infirmer l'efficacité des extraits aqueux de grain de Neem dans la gestion du bioagresseur.

La méthode de lutte biologique la plus dominante dans la littérature est l'usage des parasitoïdes dans la lutte contre la CLA. Lors et déjà, plusieurs parasitoïdes des œufs et des chenilles ont été inventoriés et testé dans beaucoup des pays Africains. Le tableau 3 ci-dessous donne la synthèse globale des résultats consignés dans le tableau 1 sur les taux de parasitisme des différents parasitoïdes. Il a été calculé la moyenne des taux obtenus par les différentes études en Afrique. Globalement les parasitoïdes des œufs ont fourni les taux de parasitisme le plus importants avec en tête le parasitoïde *Telenomus remus* qui paraît plus prometteur avec un taux moyen de 25,7% suivi de *Trichogramma* avec un taux de 25,3% (Tableau 3). Les séries des expériences réalisées en champ et au laboratoire par [89] confirme aussi que le parasitisme des œufs par *T. remus* était significativement plus élevé que le parasitisme par *Trichogrammatoidea sp* et combiné *T. remus* + *Trichogrammatoidea sp* quel que soit le type de masse d'œufs S'agissant des parasitoïdes des chenilles, le parasitoïde *Cotesia icipe* paraît plus prometteur avec un taux de parasitisme naturel de 11,5% suivi de *P. zonata* avec 9,2% (Tableau3).

Tableau 3. Moyenne des taux de parasitismes du tableau précédent

<i>Cotesia icipe</i>	<i>P. zonata</i>	<i>C. luteum</i>	<i>Charops ater</i>	<i>Chelonus sp</i>	<i>Telenomus remus</i>	<i>Trichogramma sp</i>
11,5 ± 17,6	9,2 ± 4,6	5,5 ± 3,4	3,6 ± 4,8	2,8 ± 3,9	25,7 ± 26,2	25,3 ± 49,8

Malgré les avantages qu'offre la lutte biologique avec l'utilisation des parasitoïdes, l'impact réel de ces lâchers en termes de potentiel pratique et de faisabilité économique est difficile à évaluer et est souvent remis en question [90]. Cependant, le potentiel de la lutte biologique, il est important d'évaluer la diversité, l'adaptabilité et l'efficacité des ennemis naturels à grande échelle sur le continent.

9 CONCLUSION

Dès son apparition en 2016 à aujourd'hui la chenille légionnaire est devenu le plus grand ravageur du maïs sur le continent. L'insecte est polyphagie avec une forte capacité de migration, l'infestation et les dommages aux plantes entraînent des pertes considérables en rendements.

En Afrique, la protection du maïs contre la chenille légionnaire d'automne devient essentielle.

Pour lutter efficacement contre le ravageur, plusieurs méthodes de lutte sont employées, les méthodes de luttés largement pratiquées dans la quasi-totalité des pays Africains, reste la lutte chimique avec l'utilisation des pesticides de synthèse. Plusieurs cas de développement de résistance sont énumérés par la littérature, c'est qui limite l'efficacité de cette lutte. La lutte biologique avec usage des parasitoïdes comme *Telenomus sp* et *Trichogramma* peuvent être des candidats pour la lutte biologique efficiente à large échelle contre les œufs et le parasitoïde *Cotesia icipe* contre les chenilles.

Les pesticides chimiques qui doivent être appliqués quand le recours aux alternatives de luttés a échoué devraient avoir une toxicité moindre sur les ennemis naturels et la santé humaine. Dans ce cas, des sensibilisations sont nécessaires pour amener les producteurs à l'usage des pesticides homologués dont la plupart sont moins nocifs que les non homologués.

REMERCIEMENTS

Ce travail entre dans le cadre de la mise en œuvre des activités du Projet Sahel IPM financé par la FONDATION Mc Knight. Notre remerciement à cette Mc Knight et au projet collaboratif CSAT-IPM financé par le Norvège pour sa contribution partielle aux activités de la thèse et au comité de relecture du présent manuscrit.

Nous tenons également à remercier le personnel de l'Institut national de la Recherche Agricole (INRAN/Maradi) pour leur assistance durant la conduite de nos activités de la recherche.

REFERENCES

- [1] Younoussa, L., Bioactivité des terres de diatomées et des poudres de Neem à l'égard de bruche du niébé *Callosobruchus maculatus* (FAB) (Coleoptera: Bruchidae), Mémoire en vue de l'obtention du Diplôme de Master en Biologie des Organismes Animaux, Université de Ngaoundere, 72 P, 2011.
- [2] FAO et PAM., Plan de riposte contre la chenille légionnaire d'automne en République Démocratique du Congo, Document stratégique 2019-2024, 35P, 2018.
- [3] A. M. Balasha, A. B. Ndele, M. B. Benjamin, V. M. Ngabo, Perceived Impacts of Climate Change and Farmers' Choices of Adaptation Practices in the South Kivu's Marshlands, *Journal of Applied Agricultural Economics and Policy Analysis*, 2021, Vol. 4, No. 1, 18-24, DOI: 10.12691/jaaepa-4-1-2, 7P, 2021.
- [4] M. Kenis, H. Plessis, J. Van den Berg, M. N. Ba, G. Goergen, K. E. Kwadjo, I. Baoua, A. Buddie, G. Cafà, *Telenomus remus*, a candidate parasitoid for the biological control of *Spodoptera frugiperda* in Africa, is already present on the continent, *Insects* 2019, 10, 92, 2019.
- [5] M. Murúa, M. Juárez, S. Prieto, G. Gastaminza, E. Willink, Distribución temporal y espacial de poblaciones larvárias de *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lep.: Noctuidae) en diferentes hospederos en provincias del norte de la Argentina, *Journal Rev Ind Agríc de Tucumán* 86 (1): 25-36P, 2009.
- [6] A. Schmidt-Durán, V. Villalba-Velásquez, R. Chacón-Cerdas, K. Martínez, D. Flores-Mora, Larval stage prediction model of *Spodoptera frugiperda* collected in fig (*Ficus carica*) and discovery of *Apanteles* sp, as its parasitoid. *Tecnología en Marcha*, Vol. 28, Nº 1: 47-58 pp, 2015.
- [7] I. Zenner, H. Arévalo, R. Mejía, El gusano cogollero del maíz *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) y algunas plantas transgénicas. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 1 (1): 103-113P, 2007.
- [8] B. M. Prasanna, J. E. Huesing, R. Eddy, V. M. Peschke, La chenille légionnaire d'automne en Afrique: Un guide pour la lutte intégrée contre le ravageur. Première édition, Mexico, CDMX: CIMMYT, 124P, 2018.
- [9] J. Ouaba, T. Tchuinkam, A. Waïmane, H. J. O. Magara, S. Niassy, F. Meutchieye, Lepidopterans of economic importance in Cameroon: A systematic review. *Journal of Agriculture and Food Research* 8 (2022) 100286, 2022.
- [10] P. Abrahams, M. Bateman, T. Beale, V. Clottey, M. Cock, Y. Colmenarez, N. Corniani, R. Day, R. Early, J. Godwin, J. Gomez, M. P. Gonzalez, S. T. Murphy, B. Oppong-Mensah, N. Phiri, C. Pratt, G. Richards, S. Silvestri, A. Witt, Fall Armyworm: impacts and implications for Africa. Evidence Note (2), September 2017. *CABI – UK Aid*, 144 pp, 2017.
- [11] I. Rwomushana, M. Bateman, T. Beale, P. Beseh, K. Cameron, M. Chiluba, V. Clottey, T. Davis, R. Day, R. Early, et al. Fall., Armyworm: Impacts and Implications for Africa; Evidence Note Update; *CABI: Oxfordshire*, UK, 2018.
- [12] A. NDIAYE, M. FAYE, I. BA, I. DIALLO, and P. M. SEMBENE, The fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith), a new pest of maize in Africa: monitoring, damage evaluation and identification of natural enemies on production areas of Sénégal, *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 15 (6): 2247-2260, 2021, 14P, 2021.
- [13] E. TENDENG, B. LABOU, M. DIATTE, S. DJIBA, and K. DIARRA,. The fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith), a new pest of maize in Africa: biology and first native natural enemies detected, *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 13 (2): 1011-1026, 2019, 16P, 2019.
- [14] R. D. Harrison, C. Thierfelder, F. Baudron, P. Chinwada, C. Midega, U. Schaffner, J. Van den Berg, 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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.05.011>, 2019.
- [15] FAO, Briefing note on fall armyworm (FAW) in Africa, 2017. <http://www.fao.org/3/a-bt415e.pdf>
- [16] FAO, Gestion intégrée de la chenille légionnaire d'automne sur le maïs. Un guide pour les champs-écoles des producteurs en Afrique. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, 136P, 2018.
- [17] Fontaine R., Clain C., Franck A., *Spodoptera frugiperda*, la chenille légionnaire d'automne. La FDGDON, CIRAD, 4P, 2018.
- [18] M. C. Cokola, S. S. Ndjadi, E. B. Bisimwa, L. E. Ahoton, F. Francis, First report of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) on Onion (*Allium cepa* L.) in South Kivu, Eastern DR Congo. *Revista Brasileira d'Entomologia* 65 (1): e20200083, 2021.

- [19] G. Goergen, P. L. Kumar, S. B. Sankung, A. Togola, M. Tamo, 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* 2016, 11, e0165632, 2016.
- [20] AGRHYMET, La chenille d'automne *Spodoptera frugiperda*, nouveau ravageur du maïs en Afrique de l'Ouest, a atteint le Niger. Bulletin spécial, Centre Régional AGRHYMET, Niamey, Niger, 7P, 2017.
- [21] GERMAIN J. F., GOERGEN G., REYNAUD P., SILVIE P., Une noctuelle américaine envahit l'Afrique: La première sortie de *Spodoptera frugiperda* hors du continent américain a été constatée. Une arrivée tonitruante au sud du Sahara... Pour l'instant. PhytomA, 2017.
- [22] IITA., First report of outbreaks of the «Fall Armyworm» on the African continent. IITA Bulletin, No. 2330, 2016. <http://bulletin.iita.org/index.php/2016/06/18/first-report-of-outbreaks-of-the-fall-armyworm-on-the-African-continent/>.
- [23] CRA, ALERTE *Spodoptera frugiperda* une nouvelle chenille, ravageur du maïs. Réseau National des Chambres d'Agriculture du Niger, Note d'information, 3P, 2016.
- [24] RECA, La Chenille légionnaire du maïs *Spodoptera frugiperda*. Niger, 4P, 2017.
- [25] CABI, Scientists discover new crop-destroying Armyworm is now «spreading rapidly» in Africa. Wallingford, UK: CABI, 2017. <http://www.cabi.org/news-and-media/2017/scientists-discover-new-crop-destroying-armyworm-is-now-spreading-rapidly-in-africa/>.
- [26] BBC, Fall armyworm 'threatens African farmers' livelihoods'. UK: BBC, 2017. <http://www.bbc.co.uk/news/science-environment-38859851>.
- [27] M. Kouakou, K. C. Kobenan, R. J. G. Didi, K. N. Bini Kouadio, G. Ochou Ochou, Détection de la Chenille Légionnaire d'automne, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Coleoptera: Noctuidae) et Premières Observations sur sa Biologie en Côte d'Ivoire. *European Scientific Journal*, Vol.15, No.12 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431, 14P, 2019.
- [28] J. A. Nboyine, F. Kusi, M. Abudulai, B. K. Badii, M. Zakaria, G. B. Adu, A. Haruna, A. Seidu, V. Osei, S. Alhassan, A. Yahaya, A new pest, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith), in tropical Africa: Its seasonal dynamics and damage in maize fields in northern Ghana, *Crop Protection* 127 (September 2019): 104960. DOI: 10.1016/j.cropro.2019.104960, 2020.
- [29] D. J. W. Rose, C. F. Dewhurst, The African Armyworm handbook: the status, biology, ecology, epidemiology and management of *Spodoptera exempta* (Lepidoptera: Noctuidae) [Internet]. Second edition. Chatham, UK: *Natural Resources Institute*; 2000. Available: http://www.lancaster.ac.uk/armyworm/docs/TheAfricanArmywormHandbook_2014revision.pdf.
- [30] Seymour P. R., Roberts H., Davis M. E., Insects and other invertebrates found in plant material imported into England and Wales, 1984. Reference Book, Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, UK No. 442/84, 1985.
- [31] S. J. Johnson, Migration and the life history strategy of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, in the Western hemisphere. *Insect Science and its Application* 8, 543-549, 1987.
- [32] L. B. T. USGS, Integrated Taxonomic Information System (ITIS), U. S. Geological survey, 2013, DOI 10.5066/F7KHOKBK, <https://doi.org/10.5066/F7KHOKBK>, consulté le 28/08/2022 à 12: 57: 26.
- [33] FAO., Manuel de formation des formateurs sur la lutte intégrée contre la chenille légionnaire d'automne, *Spodoptera frugiperda*. Document de formation, 90P, 2019.
- [34] E. S. BROWN, C. F. DEWURST, The genus *Spodoptera* (Lepidoptera, Noctuidae) in Africa and the Near East, *Bull. ent. Rest.*, 65: 1975, 221-262.
- [35] A. Delobel, Une pullulation de *Spodoptera exempta* Walker sur la côte occidentale de la Nouvelle-Calédonie (Lepidoptères Noctuidae), *Cah. ORSTOM, sér. Biol.*, vol. XIII, no 4, 1978: 333-338.
- [36] J. Brambila, Identification notes for *Spodoptera litura* and *Spodoptera littoralis* (Lepidoptera: Noctuidae) and some native *Spodoptera* moths, USDA-APHIS-PPQ, June 2013, 12.
- [37] J. L. Capinera, Beet Armyworm, *Spodoptera exigua* (Hübner) (Insecta: Lepidoptera: Noctuidae), IFAS Extension, University of Florida, 2020, 4.
- [38] A. Anonyme, *Spodoptera exigua* (Noctuelle de la Betterave), Koppert Biological Systems, 2014, <http://ephytia.inra.fr/fr/C/19715/Biocontrol-Biocontrol>, consulté le 28/08/2022.
- [39] RAP., Maïs sucré: légionnaire d'automne. Fiche technique, Réseau d'Avertissement Phytosanitaire, 7P, 2018.
- [40] L. Looli Boyombe, M. L. Jean Claude, G. Bolondo, G. Mabossy-Mobouna, Efficacité d'extraits des différentes parties de Neem (*Azadirachta indica* L.) contre *Spodoptera frugiperda* JE Smith à Kisangani, RDC, *African. J. Trop. Entomol. Res.* 2022, Vol. 1 (1): 42 - 52.
- [41] MUNENE A. V, Note d'information sur la vaillance et la gestion de la chenille légionnaires « *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) Lepidoptera: Noctuidae ». Note d'information, ResearchGate, 10P, 2018.
- [42] CABI et OEPP., *Spodoptera frugiperda*. Fiche informative sur les organismes de quarantaine, Union Européenne, 5P, sd.

- [43] Akindele A. A., Savoirs des peuples Ayizo et Fon de la commune d'Allada sur les nuisibles des productions Agricoles. *Agronomie Africaine Sp.* 33 (1): 1 - 13 (2021), 7P, 2021.
- [44] O. O. ODEYEMI, O. T. ALAMU, G. A. YEKINNI and Q. O. OLOYEDE-KAMIYO, Development and determination of larval stages of fall armyworm on some staple crops. *African Crop Science Journal*, Vol. 29, No. 4, pp. 445 – 457, 13P, 2021.
- [45] D. M. Silva, A. F. Bueno, K. Andrade, C. S. Stecca, P. M. O. J. Neves, M. C. N. Oliveira, Biology and nutrition of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) fed on different food sources. *Sci. Agric.*, 74 (1): 18-31. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-992x-2015-0160>, 2017.
- [46] W. RUSSIANZI, R. ANWAR, H. TRIWIDODO, Biostatistics of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* in maize plants in Bogor, West Java, Indonesia. *BIODIVERSITAS* ISSN: 1412-033X, Volume 22, Number 6, E-ISSN: 2085-4722, P: 3463-3469, 2021.
- [47] B. R. Ahissou, W. M. Sawadogo, A. H. Bokonon-Ganta, I. Somda, M. P. Kestemont, & F. J. Verheggen, 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 (2): 435-444. DOI: <https://doi.org/10.4001/003.029.0435>, 2021.
- [48] J. Wan, C. Huang, C-Y. Li, H. Zhou, Y. Ren, Z. Li, L. Xing, B. Zhang, X. Qiao, B. Liu, C. Liu, Y. Xi, W. Liu, W. Wang, W. Qian, S. Mckirdy, F. Wan, Biology, invasion and management of the agricultural invader: Fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), *Journal of Integrative Agriculture*, 2021, 20 (3): 646–663, 19P, 2021.
- [49] A. J. Hruska, F. Gould, Fall Armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) and *Diatraea lineolata* (Lepidoptera: Pyralidae): Impact of larval population level and temporal occurrence on maize yield in Nicaragua, *J. Econ. Entomol.* 1997, 90, 611–622, 1997.
- [50] J. P. K. Tshiabukole, G. P. Khonde, A. M. Phongo, N. Ngoma, A. M. Kankolongo, R. K. Vumilia, and A. M. Djamba, Simulation of Fall Armyworm (*Spodoptera frugiperda*) Attacks and the Compensative Response of Quality Protein Maize (*Zea mays*, var. Mudishi-1 and Mudishi-3) in South western DR Congo. *Open Access Library Journal*, 8: e7217, 2021. <https://doi.org/10.4236/oalib.1107217>.
- [51] F. Baubron, M. A. Zaman-Allah, I. Chaipa, N. Chari, and P. Chinwada, 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, 141-150, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.01.028>
- [52] C. Diagne, A. Turbelin, D. Moodley, A. Novoa, B. Leroy, E. Angulo, T. Adamjy, A. K. M. Dia Cheikh, A. Taheri, J. Tambo, G. Dobigny, F. Courchamp, The economic costs of biological invasions in Africa: agro wing but neglected threat? *NeoBiota*, Pensoft Publishers, 2021, 67, pp.11-51.10.3897/neobiota.67.59132.hal-03410320, 2021.
- [53] C. N. Akeme, C. Ngosong, S. A. Sumbele, A. Aslan, A. S. Tening, C. Y. Krah, B. M. Kamanga, A. Denih, and O. J. Nembangia, Different controlling methods of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in maize farms of small-scale producers in Cameroon. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 911 (2021) 012053, doi: 10.1088/1755-1315/911/1/012053, 2021.
- [54] N. M. Yannick, M. B. Israël, M. I. Precy, Y. M. Jonas, K. N. Franck, K. D. Bora, K. M. Mwamba, K. F. Mununga, S. Kirongozi, N. M. Kesonga, Perceptions of small-scale producers in Kipushi on the damage caused by armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in *Zea mays* fields, Haut-Katanga, DR Congo, *International Journal of Recent Engineering Research and Development (IJRERD)*, ISSN: 2455-8761, www.ijrer.com, Volume 06 – Issue 03, March 2021, PP. 08-17, 2021.
- [55] F. Agnès, Kenya: la guerre biologique contre la chenille légionnaire d'automne, *International Afrique*, 16P, 2019.
- [56] FAO & CABI., Community-Based Fall Armyworm monitoring, early warning and management: Training of Trainers Manual, 2019.
- [57] M. Batamoussi Hermann, S. B. J. TOKORE OROU MERE, M. YAYA, J. D. F. AKOUNNOU, Performances agronomiques de la variété QPM/FAABA du maïs (*Zea mays* L.) suivant les périodes de semis en condition de perturbations climatiques. *Ann. UP, Série Sci. Nat. Agron.*, Vol.11 (No.1): 25-32, 8P, 2021.
- [58] G. Hailu, S. Niassy, K. R. Zeyaur, N. Ochatum, & S. Subramanian, Maize–legume intercropping and push–pull for management of fall armyworm, stemborers, and *Striga* in Uganda, *Agron. J.*, 110 (6), 2513-2522, doi.org/10.2134/agronj2018.02.0110, 2018.
- [59] M. M. Degri, D. M. Mailafiya, & J. S. Mshelia, Effect of Intercropping Pattern on Stem Borer Infestation in Pearl Millet (Pennisetum glaucum L.) Grown in the Nigerian Sudan Savannah, *Advances in Entomology*, 02 (02), 81–86P, 2014.
- [60] S. Niassy, M. K. Agbodzavu, E. Kimathi, B. Mutune, M. E-F. Abdel-Rahman, D. Salifu, G. Hailu, Y. T. Belayneh, E. Felege, H. E. Z. Tonnang, S. Ekesi, S. Subramanian, Bioecology of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith), its management and potential patterns of seasonal spread in Africa. *PLoS ONE* 16 (6): e0249042, 2021. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0249042>.
- [61] C. A. O. Midega, J. Pittchar, J. A. Pickett, G. Hailu, Z. R. Khan, A climate-adapted push-pull system effectively controls fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith), in maize in East Africa. *Crop Prot.* 2018, 105, 10–15, 2018.

- [62] O. G. M. Guera, F. Castrejón-Ayala, N. Robledo, A. Jiménez-Pérez, G. Sánchez-Rivera, L. Salazar-Marcial, and H. E. F. Moctezuma, Effectiveness of Push–Pull Systems to Fall Armyworm (*Spodoptera frugiperda*) Management in Maize Crops in Morelos, Mexico. *Insects* 2021, 12, 298. <https://doi.org/10.3390/insects12040298> Academic Editor: Ezio.
- [63] C. T. S. Aniwano, A. A. C. Sinzogan, J. M. Deguenon, R. Sikirou, D. A. Stewart, A. Ahanchede, 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>, 2021.
- [64] T. M. Shivalingaswamy, A. Kumar, S. Satpathy, A. B. Rai, Efficacy of emamectin benzoate in the management of vegetable pests. *Prog. Hortic.* 2008, 40, 193–197.
- [65] A. Gacemi, Y. Guenaoui, Efficacy of emamectin benzoate on *Tuta absoluta* Meyrick (Lepidoptera: Gelechiidae) infesting a protected tomato crop in Algeria, *Acad. J. Entomol.* 2012, 5, 37–40, 2012.
- [66] D. Babendreier, L.K. Agboyi, P. Beseh, M. Osa, J. Nboyine, S. E. K. Ofori, J. O. Frimpong, V. A. Clottey, M. Kenis, The efficacy of alternative, environmentally friendly plant protection measures for control of Fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, in maize. *Insects*, 2020, 11, 240.
- [67] N. H. Pitre, Chemical control of the fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae): An update. Fla, *Entomol.* 1986, 69, 570–578.
- [68] D. ZHANG, Y. XIAO, P. XU, X. YANG, Q. WU, K. WU, Insecticide resistance monitoring for the invasive populations of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* in China. *Journal of Integrative Agriculture*, 2021, 20 (3): 783–791, 9P.
- [69] K. D. KOFFI, M. KOUAKOU, D. MAMADOU, K. K. N. BINI, O. G.OCHOU, Étude de la sensibilité de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) à des insecticides chimiques, *Journal of Applied Biosciences*, 166: 17223–17230 ISSN 1997-5902, 2021.
- [70] G. Kambou, et A. M. Millogo, Efficacité biologique d'extraits aqueux de substances naturelles (*Cassia nigricans* Vahl., *Parkia biglobosa* (Jacq.) R. ex G. Donf., *Capsicum annum* L., *Cleome viscosa* L.) Sur la chenille légionnaire (*Spodoptera frugiperda* J.E Smith) en culture du maïs et de leurs effets sur les microorganismes d'un sol ferrugineux, au Burkina Faso, *Journal of Environmental Science, Computer Science and Engineering & Technology*.Vol.8. No.1, 036-051, 2019.
- [71] G. BONNI, T. A. HOUNDETE, E. SEKLOKA, R. ASSOGBA BALLE, and O. K. DOURO KPINDOU, Field and laboratory testing of new insecticides molecules against *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) infesting maize in Benin, *Issues in Biological Sciences and Pharmaceutical Research*, Vol.8 (4), pp. 65-71, 2020.
- [72] S. K. Tulashie, F. Adjeiab, J. Abraham, E. Addoa, Potential of neem extracts as natural insecticide against fall armyworm (*Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). ELSEVIER, 4, December 2021, 100130. Uganda, *Agronomy Journal*, 110 (6), 2513–2522, 2021.
- [73] A. Hernandez-Trejo, B. Estrada-Drouaillet, J. A. López-Santillán, C. Rios-Velasco, R. Rodríguez-Herrera, and E. Osorio-Hernández, «Effects of Native Entomopathogenic Fungal Strains and Neem Extract on *Spodoptera frugiperda* on Maize,» *Southwestern Entomologist* 44 (1), 117-124, (21 March 2019). <https://doi.org/10.3958/059.044.0113>.
- [74] B. Sisay, J. Simiyu, E. Mendesil, P. Likhayo, G. Ayalew, S. Mohamed, S. Subramanian, T. Tefera, Fall Armyworm, *Spodoptera frugiperda* Infestations in East Africa: Assessment of Damage and Parasitism. *Insects*, 10, 195; doi: 10.3390/insects10070195, 10P, 2019.
- [75] A. F. Abang, S. N. Nanga, A. Fotso Kuate, C. Kouebou, C. Suh, C. Masso, M. G. Saethre, K. K. M. Fiaboe, Natural Enemies of Fall Armyworm *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera : Noctuidae) in Different Agro-Ecologies. *Insects*, 12 (6), 509. 2021.<https://doi.org/10.3390/insects12060509>.
- [76] L. K. Agboyi, G. Goergen, P. Beseh, S. A. Mensah, V. A. Clottey, R. Glikpo, A. Buddie, G. Cafà, L. Offord, R. Day, I. Rwomushana, M. Kenis, Parasitoid Complex of Fall Armyworm, *Spodoptera frugiperda*, in Ghana and Benin, *Insects*, 11 (2), 68, 2020. <https://doi.org/10.3390/insects11020068>.
- [77] L. AMADOU, I. BAOUA, M. N. BA, L. KARIMOUNE, R. MUNIAPPAN, NATIVE PARASITIDS RECRUITED BY THE INVADDED FALL ARMY WORM IN NIGER. *Indian Journal of Entomology*, 80 (4): 1253-1254 (2018), 3P.
- [78] M. Kanda, G. Djaneye-Boundjou, K. Wala, K. Gnan, K. Batawila, A. Sanni, et A. Koffi, Application des pesticides en agriculture maraichère au Togo. *VertigO*, 13 (1), 4-8, 2013.
- [79] A. D. Mondédji, W. S. Nyamador, K. Amevoin, R. Adéoti, G. A. Abbey, G. K. Ketoh, I. A. Glitho, Analyse de quelques aspects du système de production légumière et perception des producteurs de l'utilisation d'extraits botaniques dans la gestion des insectes ravageurs des cultures maraichères au Sud du Togo. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 9 (1), 98-107, 2015.
- [80] B. B. Yarou, P. Silvie, F. A. Komlan, A. Mensah, T. Alabi, F. Verheggen, F. Francis, Plantes pesticides et protection des cultures maraichères en Afrique de l'Ouest (synthèse bibliographique). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 2017 21 (4), 288-304, 17P, 2017.
- [81] Bourguerra L. M., Les pesticides et le tiers monde, Recherche n°176 p 545-553, 1986.
- [82] IITA., Annual Report and Research Highlights - IITA, Ibadan, 50 p, 1988.

- [83] ICIPE, The 'Push–Pull' Farming System: Climate-smart, sustainable agriculture for Africa, *African Insect Science for Food and Health*, ISBN 978-9966-063-06-9, Nairobi, Kenya, 36P, 2015.
- [84] G. M. Balaso, C. Nalini, P. Yankit, and P. Thakur, Push-pull strategy: Novel approach of pest management, *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 2019; 7 (5): 220-223, 5P, 2019.
- [85] Z. Drmić, M. Tóth, D. Lemić, D. Grubišić, M. Pospišilc, and R. Bažoka, Area-wide mass trapping by pheromone-based attractants for the control of sugar beet weevil (*Bothynoderes punctiventris* Germar, Coleoptera: Curculionidae), *Pest Manag Sci*, DOI 10.1002/ps.4601, 10P, 2017.
- [86] Kumar R., La Lutte Contre les Insectes Ravageurs, Karthala et CTA: Paris; 10- 311P, 1991.
- [87] Meyer J. Y., La lutte biologique contre les espèces Introduites envahissantes: solution miracle Ou méthode risquée ? Fiche technique, 16P, 2002.
- [88] I. Yolidje, D. Alfa Keita, I. Moussa, A. Toumane, S. Bakasso, K. Saley, T. Much, J-L. Pirat, et J. M. Ouamba, Enquête ethnobotanique sur les plantes utilisées traditionnellement au Niger dans la lutte contre les moustiques vecteurs des maladies parasitaires, *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 14 (2): 570-579, 10P, 2020.
- [89] S. A. Laminou, M. N. Ba, L. Karimoune, A. Doumma, and R. Muniappan, Parasitism of Locally Recruited Egg Parasitoids of the Fall Armyworm in Africa, *Insects* 2020, 11, 430; doi: 10.3390/insects11070430, 2020.
- [90] K. R. Farrell, Pest management: the search for alternatives, *California Agriculture*, 45 (4): 2-2, 1991.
- [91] M. Kassie, J. Stage, G. Diiro, B. Muriithi, G. Muricho, S. T. Ledermann, J. Pittchar, C. Midega, Z. Khan, Push–pull farming system in Kenya: Implications for economic and social welfare, *Elsevier, Land Use Policy* 77 (2018) 186–198, 2018.
- [92] A. Fotso Kuate, S. N. Nanga, S. Ngatat, M. Tindo, C. Masso, R. Ndemah, C. Suh, K. M. Fiaboe Komi, *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, 2019. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0215749>.
- [93] L. M. Santos, L. R. Redaelli, L. M. G. Diefenbach, C. F. S. Efrom, Larval and pupal stage of *Spodoptera frugiperda* (J.E Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) in sweet and field corn genotypes, *Braz. J. Biol.*, 63 (4): 627-633P, 2003.