

Monitoring et méthodes alternatives de lutte contre Spodoptera frugiperda J.E Smith dans la région du Centre-Ouest du Burkina Faso

Auteur : Kouanda, Nongamanégré

Promoteur(s) : Francis, Frédéric; 11648

Faculté : Gembloux Agro-Bio Tech (GxABT)

Diplôme : Master de spécialisation en production intégrée et préservation des ressources naturelles en milieu urbain et péri-urbain

Année académique : 2019-2020

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/10898>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

Monitoring et méthodes alternatives de lutte contre *Spodoptera frugiperda* J.E Smith dans la région du Centre-Ouest du Burkina Faso

KOUANDA NONGAMANEGRE

**TRAVAIL DE FIN D'ETUDES PRÉSENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE
MASTER DE SPECIALISATION EN PRODUCTION INTEGREEE ET PRESERVATION DES
RESSOURCES NATURELLES EN MILIEU URBAIN ET PERI-URBAIN**

ANNEE ACADEMIQUE 2019-2020

(CO)-PROMOTEUR(S) : FREDERIC FRANCIS et ATHANASE BADOLO

Dédicace

A

Mon père KOUANDA Nokidiga

Ma mère KJENDREBEOGO Nopoḥo

Je dédie ce mémoire

Remerciements

La réalisation du présent document a été rendue possible grâce à la contribution de nombreuses personnes à qui il m'est très agréable de témoigner ma profonde gratitude.

- Je remercie mes Promoteurs Professeur Frédéric FRANCIS et Professeur Athanase BABOLO pour avoir accepté de la direction de mes travaux et pour avoir accepté de mettre à ma disposition les ressources nécessaires dont j'avais besoin. Votre disponibilité, votre patience, vos précieux conseils ont illuminé ma réflexion.
- Je remercie l'Académie de Recherche et d'Enseignement Supérieur (ARES) pour cette chance qu'elle m'a offerte en finançant cette formation. Je remercie particulièrement Madame Lindsay Lebeau pour l'accueil et pour n'avoir ménagé aucun effort pour rendre notre séjour agréable en Belgique.
- Je remercie tout le corps professoral, le personnel administratif de la faculté de Gembloux Agro-Bio-Tech, de la Haute école charlemagne (*HeCh*, ISIA) en particulier et de l'Université de Liège en général pour tous les efforts consentis pour nous offrir un enseignement de qualité.
- Je remercie le coordinateur du Master de spécialisation en Production intégrée et Préservation des Ressources Naturelles en milieu urbain et péri-urbain, Professeur Haïssam JIJAKLI.
- Je remercie le Professeur Antoine SANON pour l'accueil au sein du LEFA et les précieux conseils.
- Au projet de recherche pour le développement (PRD) pour l'insectarium qui m'a permis de réaliser l'elevage des insectes pour mes différentes expérimentations, je dis merci.
- Je remercie le Docteur Rudy Caparros pour les démarches pour l'acquisition des pièges.
- J'adresse mes remerciements aux collègues du LEFA Dr. Sombié Aboubacar, M. Martin Tintéga, M. Compaoré Idrissa, M. Kélé Issa et tous les étudiants du labo pour la bonne ambiance et la franche collaboration qui ont facilité mon intégration et le bon déroulement de mes expérimentations.
- Aux collègues M. Justin S. Kaboré, M. Tigati Léonce Richard, M. Ouédraogo Moussi, M. Dembélé L. Odilon pour m'avoir accompagné sur le terrain pour la collecte des données et la réalisation de mes enquêtes.
- Aux agriculteurs de la région de Centre-Ouest pour la bonne collaboration, je dis merci.
- Je remercie tous les camarades de la promotion 2019-2020 du Master PPRN pour la bonne collaboration, le partage d'expérience et de cultures.

Sigles et abréviations

AC	: Agriculture de conservation
ADN	: Acide désoxyribonucléique
AAES	: Analyse de l'Agroécosystème
Bt	: <i>Bacillus thuringiensis</i>
CABI	: Center for Agriculture and Bioscience International
CILSS	Comité Permanent Inter-Etats de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel
CRA	: Chambre Régionale d'Agriculture
CSP	: Comité Sahélien des Pesticides
DPVC	: Direction de la Protection des Végétaux et du Conditionnement
EPPO /OEPP	: European and Mediterranean Plant Protection Organization/ Organisation Européenne et Méditerranéenne pour la Protection des Plantes
FAO	: Food and Agriculture Organisation
GPS	: Global Positioning System
HSD	: Honestly Significant Difference
IPPC	: International Plant Protection Convention
IRAK	: Insecticide Resistance Action Committee
LEFA	: Laboratoire d'Entomologie Fondamentale et Appliquée
MAAH	: Ministère de l'Agriculture et des Aménagements Hydrauliques
MAH	: Ministère de l'Agriculture et de l'Hydraulique
MAHRH	: Ministère de l'Agriculture de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques
NATESC	: National Agricultural Technology Extension Service Center
NPK	: Azote-Phosphore-Potassium
OMS	: Organisation Mondiale de la Santé
PCR	: Polymerase Chain Reaction
PDR	: Projet de Recherche pour le Développement
PNDES	: Plan National de Développement Economique et Social
PPRN	: Production intégrée et Préservation des Ressources Naturelles en milieu urbain et péri-urbain
PLCF	: Programme de Lutte Contre les Fléaux
RFLP	: Restriction Fragment Length Polymorphism
TNT	: Témoin non traité

Table des matières

Dédicace	i
Remerciements	ii
Sigles et abréviations.....	iii
Table des matières.....	iv
Liste des tableaux	vii
Liste des figures	viii
Liste des photos	ix
Résumé	x
Abstract	xi
Introduction	1
Objectifs de recherche	3
Hypothèses de recherche	4
Chapitre I : Revue de la littérature	5
I. <i>Spodoptera frugiperda</i> JE Smith (1797)	5
1.1. Classification.....	5
1.2. Origine et dispersion	5
1.3. Cycle biologique	6
1.4. Ecologie	10
1.5. Plantes hôtes et dégâts	10
II. Monitoring et identification de <i>Spodoptera frugiperda</i>	11
2.1. Monitoring	11
2.2. Identification	12
III. Mode de gestion de <i>Spodoptera frugiperda</i>	14
3.1. Méthodes agronomiques	14
3.2. La lutte biologique	18
3.2.1. Les parasitoïdes	18
3.2.2. Les prédateurs	19
3.2.3. Les agents entomopathogènes	19
3.3. Résistances variétales.....	22
3.4. Utilisation des pesticides botaniques	22
3.5. La lutte chimique	24
3.6. La gestion intégrée	24
Chapitre II : Matériel et méthodes.....	26
I. Zone d'étude	26
II. Matériel.....	28
2.1. Monitoring et enquêtes	28

2.2.	Les insecticides testés	29
III.	Méthodologie.....	29
3.1.	Monitoring	29
3.1.1.	Piégeage.....	29
3.1.2.	Evaluation de l'incidence de <i>Spodoptera frugiperda</i> en champ.....	30
3.2.	Mode de gestion paysan de la chenille légionnaire au Centre-Ouest.	31
3.3.	Elevage de <i>Spodoptera frugiperda</i>	32
3.4.	Test de consommation de cultures maraîchères.....	33
3.5.	Efficacité biologique des pesticides botaniques et de bio-pesticides sur les larves de <i>Spodoptera frugiperda</i>	35
IV.	Recherche d'ennemis naturels et d'entomopathogènes potentiels	37
4.1.	Parasitoïdes et prédateurs potentiels	37
4.2.	Les agents entomopathogènes.....	37
V.	Analyses statistiques des données	37
	Chapitre III : Résultats et discussion.....	38
I.	Résultats	38
1.1.	Monitoring	38
1.1.1.	Suivi de la population de <i>Spodoptera frugiperda</i> au Centre-Ouest.....	38
1.1.2.	Paramètres épidémiologiques étudiés.....	38
1.2.	Incidence de <i>Spodoptera frugiperda</i> sur les cultures maraîchères	40
1.2.1.	Test de consommation in vitro	40
1.2.2.	Test de consommation des plantules en serre.....	41
1.3.	Mode de gestion paysan de <i>Spodoptera frugiperda</i>	43
1.3.1.	Caractéristiques des exploitations agricoles	43
1.3.2.	Connaissance de <i>Spodoptera frugiperda</i> par les enquêtés et cultures hôtes ..	45
1.3.3.	Mode de gestion de <i>Spodoptera frugiperda</i>	46
1.3.4.	Connaissance des auxiliaires et des dangers liés aux pesticides.....	48
1.3.5.	Autres méthodes de lutte	49
1.4.	Les insecticides commercialisés dans le zone d'étude.....	50
1.5.	Recherche de méthodes alternatives de lutte	52
1.5.1.	Efficacité biologique de bio-insecticides.....	52
1.5.1.1.	Bio-essais in vitro	52
1.5.1.2.	Tests d'efficacité biologique des insecticides en serre	54
1.5.1.2.1.	Mortalité larvaire	54
1.5.1.2.2.	Incidence des insecticides sur la consommation des feuilles de maïs.	55
1.5.2.	Ennemis naturels potentiels de <i>Spodoptera frugiperda</i>	62
1.5.2.1.	Les ennemis naturels potentiels répertoriés	62

1.5.2.2. Les entomopathogènes potentiels	63
II. Discussion.....	64
2.1. Monitoring	64
2.2. Mode de gestion paysan de <i>Spodoptera frugiperda</i>	65
2.3. Incidence sur les cultures maraîchères.....	68
2.4. Efficacité biologique des insecticides biologiques et botaniques	68
2.5. Ennemis naturels potentiels	70
Conclusions et perspectives	72
Bibliographie	74
Annexes	I
Annexe 1 : Indicateurs d'évaluation de la sévérité des attaques de <i>Spodoptera frugiperda</i> sur la culture du maïs selon Davis et al. (1992)	I
Annexe 2 : Capture d'adulte de <i>Spodoptera frugiperda</i>	II
Annexe 3 : Quelques images de pesticides utilisés par les producteurs dans la lutte contre <i>Spodoptera frugiperda</i> au Centre-Ouest.....	III
Annexe 4 : Echelle de notation visuelle la Commission des essais biologiques (CEB) de la Commission Européenne	IV
Annexe 5 : Potentiels ennemis naturels de <i>Spodoptera frugiperda</i> rencontrés	V
Annexe 6 : Quelques clichés monitoring.....	II
Annexe 7 : Les principaux pesticides utilisés contre <i>Spodoptera frugiperda</i> au Centre-Ouest du Burkina Faso.....	III
Annexe 8 : Les insecticides commercialisés par les distributeurs de pesticides de la zone d'étude	IV
Annexe 9 : Fiche d'identification de <i>Spodoptera frugiperda</i> utilisée lors des enquêtes.....	VI
Annexe 10 : Inventaire des méthodes de gestion de <i>Spodoptera frugiperda</i>	VII
Annexe 11 : Fiche d'enquête distributeurs de pesticides	X

Liste des tableaux

Tableau 1 : Options de lutte culturelle et de gestion paysagère recommandées pour la lutte contre la chenille légionnaire d'automne en Afrique	15
Tableau 2 : Pesticides botaniques potentiels contre la chenille légionnaire d'automne, sur la base des études en Amérique.....	23
Tableau 3 : répartition des agriculteurs enquêtés par village	32
Tableau 4 : Caractéristiques des exploitations	44
Tableau 5 : Caractérisation de l'utilisation des pesticides contre <i>Spodoptera frugiperda</i>	48
Tableau 6 : Réponse dose-mortalité de <i>Spodoptera frugiperda</i> aux insecticides testés	53
Tableau 7 : Incidence de <i>Bacillus thuringiensis</i> var Kurstaki sur la consommation de la biomasse des plantules de maïs	59
Tableau 8 : Incidence des extraits aqueux de graines d' <i>Azadirachta indica</i> sur la consommation de la biomasse des plantules de maïs	60
Tableau 9 : Incidence des extraits aqueux d' <i>Azadirachta indica</i> , d' <i>Eucalyptus camaldulensis</i> et d' <i>Ocimum americanum</i> sur la consommation de la biomasse des plantules de maïs	61
Tableau 10 : Ennemis naturels potentiels rencontrés pendant la campagne sèche	62
Tableau 11 : Ennemis naturels potentiels répertoriés au cours de la campagne hivernale	63

Liste des figures

Figure 1 : Aire de distribution de <i>Spodoptera frugiperda</i>	6
Figure 2 : Localisation de la zone d'étude	28
Figure 3 : Schémas de marche lors de la prospection	31
Figure 4 : relation entre les paramètres épidémiologiques illustrés de <i>Spodoptera frugiperda</i> et la saison de production ainsi que la zone agro climatique.	39
Figure 5 : Poids des feuilles consommées après 72 h par les larves de <i>Spodoptera frugiperda</i>	41
Figure 6 : Pourcentage de feuilles présentant des dégâts de larves de <i>Spodoptera frugiperda</i> aux différentes dates d'observation.....	42
Figure 7 : Connaissance de <i>Spodoptera frugiperda</i> par les agriculteurs.....	45
Figure 8 : Les cultures les plus attaquées par <i>Spodoptera frugiperda</i>	45
Figure 9 : Perception de l'importance des dégâts, des pertes de récoltes et formation des agriculteurs	45
Figure 10 : Moyens de lutte utilisés contre <i>Spodoptera frugiperda</i> par les producteurs	46
Figure 11 : Connaissance des auxiliaires, des dangers liés aux pesticides et l'ouverture aux alternatives à la lutte chimique	49
Figure 12 : Répartition des distributeurs en fonction de leur niveau d'instruction.....	51
Figure 13 : Nombre d'années d'exercice dans la fonction de distributeur.....	51
Figure 14 : Connaissance de <i>Spodoptera frugiperda</i> et des biopesticides par les distributeurs	51
Figure 15 : Mortalité larvaire de <i>Spodoptera frugiperda</i> en serre	54

Liste des photos

Photo 1 : œuf de <i>Spodopetra frugiperda</i> pondu sur une feuille du cotonnier (a) et sur une tige et une feuille du maïs (b).....	7
Photo 2 : Larves à l'éclosion (a) et larves de moyen et de grande taille avec les signes distinctifs (b)	8
Photo 3 : chrysalide de <i>Spodopetra frugiperda</i>	9
Photo 4 : mâle adulte (a) et femelle adulte (b) de <i>Spodopetra frugiperda</i>	10
Photo 5 : Morphologie comparée des adultes de quatre espèces du genre Spodoptera	13
Photo 7 : Plantes attaquées par <i>Spodoptera frugiperda</i>	40
Photo 8 : Plantules 72 heures après l'infestation.....	41
Photo 9 : Plantules de tomate ravagées	43
Photo 10 : Pesticides commercialisés par les distributeurs de la zone d'étude	50
Photo 11 : Aspects des larves 72h après traitement à l'extrait aqueux de graines de neem.....	52
Photo 12 : Sévérité des attaques sur les feuilles traitées avec <i>Bacillus thuringiensis</i> au 10 ^{ème} jour.	56
Photo 13 : Allure des plantules au dixième jour après traitement avec des extraits aqueux de graine de neem.	57
Photo 14 : Sévérité des attaques au dixième jour après traitement aux extraits aqueux de feuilles : <i>Azadirachta indica</i> + <i>Ecalyptus camaldulensis</i> + <i>Ocimum americanum</i>	58

Résumé

La chenille légionnaire d'automne (*Spodoptera frugiperda* Smith, 1797) est une noctuelle originaire des régions tropicales et subtropicales des Amériques. Signalée au Burkina Faso depuis la campagne agricole 2017/2018, elle est présente dans toutes les régions du pays. Une enquête sur les modes de gestion du ravageur a été réalisée auprès des producteurs de la région du Centre-Ouest du Burkina Faso. Dans l'optique d'évaluer l'incidence du ravageur sur les cultures, un monitoring à travers l'utilisation de pièges à phéromones et des dépistages dans 20 parcelles de cultures maraîchères et de 30 champs de cultures céréalières a été réalisé. Des tests de consommation sur le chou, l'oignon, la laitue et la tomate ainsi que des tests d'efficacité biologique d'extrait aqueux de graine de *d'Azadirachta indica*, d'association de feuilles *d'Azadirachta indica*, *d'Eucalyptus camaldulensis* et *d'Ocimum americanum*, de formulation commerciale de *Beauveria bassiana* et de *Bacillus thurengiensis* ont été réalisés aux cours de ces recherches. Des investigations ont été menées afin de rechercher des ennemis naturels potentiels. Les infestations dans les champs de maïs ont commencé dès l'installation de la campagne surtout dans la partie Sud de la région avec des taux d'infestation moyen de 71%. Le sorgho et le chou ont également été des cibles du ravageur dans la région. La lutte chimique par la pulvérisation d'insecticides de la famille des avermectines constitue la principale méthode de lutte contre *S. frugiperda* dans la zone d'étude. Toutes les spéculations testées ont été consommées par les larves de stade L₃ avec le chou comme la spéulation la plus prisée (363,1 mg consommé au bout de 72 heures). Les extraits aqueux des graines de neem et de la formulation commerciale de *Bacillus thuringiensis* ont donné des résultats satisfaisants in vitro comme en serre. Les CL₅₀ de ces deux insecticides sont respectivement de 170 g/L et 8,73 g/L. Deux parasitoïdes potentiels de la famille des Tachinidae et de la famille des Platygastridae ainsi que neuf prédateurs potentiels ont été rencontrés au cours de nos investigations.

Mot clés : *Spodoptera frugiperda*, Burkina Faso, enquête, monitoring, extraits aqueux, parasitoïdes, prédateurs, entomopatogènes, insecticides.

Abstract

The fall armyworm (*Spodoptera frugiperda* Smith, 1797) is a moth native to tropical and subtropical regions of the Americas. Reported in Burkina Faso since the 2017/2018 crop season, it is now present in all regions of the country. A survey on the management methods of the pest was carried nearby producers in the Centre-West region of Burkina Faso. In order to assess the impact of the pest on crops, monitoring was carried out using pheromone traps and scouting 20 vegetable growing plots and 30 cereal fields. Consumption tests on cabbage, onion, lettuce and tomato as well as biological efficacy tests of *Azadirachta indica* seed aqueous extract, leaf association of *Azadirachta indica*, *Eucalyptus camaldulensis* and *Ocimum americanum*, commercial formulation of *Beauveria bassiana* and *Bacillus thurengiensis* were carried during this research. Investigations were carried to search for potential natural enemies. Infestations in maize fields started as soon as the season started, especially in the southern part of the region with average infestation rates of 71%. Sorghum and cabbage were also targets of the pest in the region. Chemical control with mainly avermectin insecticides is the main method of *S. frugiperda* control in the study area. All tested speculations were consumed by L₃ stage larvae with cabbage as the most desired speculation (363.1 mg consumed after 72 hours). Aqueous extracts of neem seeds and the commercial formulation of *Bacillus thuringiensis* gave satisfactory results in vitro and in greenhouse. Significant differences in the biomass consumption rate of seedlings treated with the different doses of these insecticides were observed compared to the untreated control. The LC₅₀ for these two insecticides are 170 g/L and 8.73 g/L, respectively. Two potential parasitoids of the Tachinidae family and the Platygastriidae family as well as nine potential predators were encountered during our investigations.

Keywords: *Spodoptera frugiperda*, Burkina Faso, survey, monitoring, aqueous extracts, parasitoids, predators, entomopathogens, insecticides.

Introduction

Au Burkina Faso, le secteur rural emploie 86% de la population totale (MAHRH, 2007). Le sous-secteur de l'agriculture occupe plus de 80 % de la population active et contribue pour environ 28 et 31 % au PIB (MAH, 2011 ; PNDES, 2015). Les cultures céréalières (sorgho, maïs, riz, fonio, etc.) et les cultures de rente (coton, sésame, arachide, soja, etc.) occupent les producteurs pendant la campagne hivernale qui s'étend du 1^{er} mai au 30 septembre (MAAH, 2017). Pendant la campagne sèche (1^{er} octobre de l'année n au 30 avril de l'année n+1), les agriculteurs se consacrent à la production maraîchère (MAH, 2011). La production céréalière a connu une augmentation moyenne annuelle de 2% sur la période de 2011 à 2015 et a contribué à un accroissement moyen du PIB agricole de 1,8% l'an (base 1999) sur la même période et à une réduction de l'incidence de la pauvreté en milieu rural qui est passée de 52,8% en 2009 à 47,5% en 2014 (PNDS, 2015).

Ces performances sont fort encourageantes mais malheureusement, le secteur est confronté à de nombreuses difficultés notamment l'appauvrissement des sols, la pression des bio-agresseurs des cultures, etc., qui risquent de remettre en cause ces progrès. En effet, en plus des effets des oiseaux granivores et des autres ravageurs des cultures, le pays a connu l'invasion d'un ravageur, *Spodoptera frugiperda* J.E Smith, signalé pour la première fois en Afrique occidentale et centrale en 2016 (Goergen et al. 2016). Ce bio agresseur, l'un des principaux nuisibles des cultures identifiées par le Programme de Lutte Contre les Fléaux (PLCF), a été signalé dans les 13 régions que compte le Burkina Faso au cours de la campagne 2017/2018. Au cours de cette campagne, il a impacté 7655 ménages du pays à travers 58 324 ha de cultures touchées, essentiellement le maïs selon le document de stratégie de gestion durable de la chenille élaboré en 2019. Selon le rapport final (2018) de la lutte contre le ravageur de la DPVC, 97 491 ha de cultures dont 86 132, 25 ha de maïs ont été déclarés infestés par le ravageur au Burkina Faso. En 2019, ce sont 94 108,75 ha de cultures qui ont été touchés par la légionnaire à travers les treize régions du pays (DPVC, 2019). Ce bio-agresseur se nourrit de feuilles et de tiges de plus de 80 espèces végétales appartenant à 27 familles notamment le maïs, le riz et le sorgho (Zenner et al., 2007 ; Parsanna et al., 2018). Les infestations entraînaient des pertes de rendement de 15 à 73% lorsque 55 à 100% des plants sont infestés (Hruska et Gould, 1997). Pour contrer l'incidence du bio-agresseur, les agriculteurs font recours aux pesticides chimiques de synthèse engendrant ainsi une hausse de l'utilisation des pesticides, très souvent mauvaise, avec comme corollaire l'augmentation des risques de mortalité humaine par intoxication déjà trop élevés selon Williamson (2008). A cela vient s'ajouter les effets néfastes sur l'environnement et les animaux comme le soulignait Toé en 2010. En plus, la mauvaise

utilisation des pesticides, même homologués, par les producteurs augmente les risques de développement de résistance à certaines molécules utilisées comme cela est déjà signalés dans d'autres contrées pour d'autres ravageurs de la même famille notamment *S. litura* (Wang et al., 2009 ; Ahmad et Arif, 2007 ; Hong et al., 2013) ; *S. exigua* (Ahmad et Arif, 2010). Ce phénomène est plus remarquable dans certaines zones du pays comme la région du Centre-Ouest dont une des provinces, la Sissili, qui fait frontière avec le Ghana et qui dispose d'un grand marché constituant une plaque tournante dans la commercialisation des pesticides de tous genres.

Il s'avère donc nécessaire de repenser les méthodes utilisées dans la lutte contre ce ravageur en vue de protéger les petites exploitations agricoles déjà vulnérables. Cela devrait débuter par une meilleure connaissance de la biologie et de l'écologie du bio agresseur dans ce nouvel environnement. En effet, le maïs, le sorgho et le riz ont été cités comme hôtes de ce ravageur dans le pays (DPVC, 2018). Selon Jacobs et al. (2018) et Michael et al. (2018), deux souches de *S. frugiperda* ont été identifiées par la caractérisation moléculaire sur le maïs et le riz en Afrique du Sud et en Ouganda respectivement. Cokola (2019) a également mis en évidence deux souches de ce bio-agresseur au Congo. En 2016, *S. frugiperda* a été identifié au Nigéria et à Sao Toé et Principe par Goergen et ses collaborateurs. Une telle caractérisation améliorera la connaissance sur les souches présentes au Burkina Faso afin de mieux orienter les prises de décisions.

Aussi, à côté des méthodes chimiques, il existerait d'autres moyens simples et accessibles telles que les bio pesticides dont les pesticides botaniques avec de larges spectres d'action (répulsif, assommant, larvicide, anti-appétant, etc.) et la lutte physique mais dont l'utilisation reste limitée par manque de sensibilisation sur leur existence et l'absence de recommandations standards (FAO, 2018). La même source précise que des études préliminaires sur l'usage des feuilles de végétaux de la famille des Meliaceae et des Asteraceae montrent de l'efficacité dans la gestion de la chenille légionnaire. Munoz et al. (2013), ont également montré que des extraits de *Calceolaria talcana* constituaient un puissant bioinsecticide contre *S. frugiperda* avec une mortalité de 95%. Des extraits de fruits à l'éthanol et de graines de *Cabralea canjerana* ont montré une activité anti appétant et larvicide contre *S. frugiperda* (Magrini et al., 2014). L'azadirachtine est également cité dans de nombreuses études pour son efficacité contre *S. frugiperda* (Gahukar, 2014 ; Hernandez-Trejo, 2019). Une étude réalisée au Burkina en 2018 avec des extraits aqueux de *Cassia nigricans* de la famille des Fabaceae, a donné un coefficient d'efficacité biologique moyen de 62,22 sur les larves de *S. Frugiperda* et un surplus de rendements de 20% par rapport au témoin non traité (Kambou et Millogo, 2018).

Par ailleurs, plusieurs entomopathogènes ont montré de l'efficacité face à *S. frugiperda*. Entre autres, une efficacité de 44,5% a été obtenue par Thomazoni et al. (2014) avec *Beauveria bassiana*, *Bacillus thuringiensis* a provoqué une mortalité de 100% des larves testées par Polanczyk et al. (2000). *Metarhizium anisopliae* et *Nomuraea rileyi* ont également été utilisés pour des tests pour le contrôle de *S. frugiperda* (Khan & Ahmad, 2015 ; Rivero-Borja et al., 2018). Aussi, la lutte chimique systématique n'est pas sans conséquence sur les potentiels ennemis naturels du bio agresseur. Des espèces de Diptères, d'Hyménoptères et des nématodes parasites ou parasitoïdes ont été découvertes en Amériques et aux Caraïbes et ont été répertoriées par Jaime et al. (2004). Les premières données selon la FAO (2018) en Afrique de l'Ouest, de l'Est et Centrale, montrent que quelques espèces de parasitoïdes des familles des Braconidea, des Ichneumonidea et des Platygastridae ont déjà accepté les œufs et les larves de *S. frugiperda* comme hôtes.

Au Burkina Faso, les données sur ce ravageur sont inexistantes tant au niveau de la bioécologie que des moyens de son contrôle. Ce mémoire se veut une contribution à la recherche des moyens de son contrôle en tentant de répondre à quelques-unes des questions suivantes : (i) quelles sont les souches de *S. frugiperda* présentes au Burkina Faso ? (ii) quelles sont les cultures cibles du bio-agresseurs dans cette nouvelle zone ? (iii) comment les agriculteurs y font face ? (iv) existent-il des ennemis naturels endogènes au Burkina Faso ? (v) quelles alternatives pouvons-nous proposer dans une logique de lutte intégrée contre le bio-agresseur ?

Le présent travail s'inscrit donc dans la logique d'une contribution une meilleure connaissance de l'écologie de *S. frugiperda* et à la recherche de méthodes alternatives, respectueuses de l'environnement, à la lutte chimique contre *S. frugiperda*. Il sera consacré au monitoring, à la recherche d'ennemis naturels de *S. frugiperda*, d'initiatives locales de lutte et à des tests de sensibilité des larves du bio agresseur à des entomopathogènes et à des extraits aqueux d'association de plantes utilisés contre des lépidoptères ravageurs de cultures au Burkina Faso.

Objectifs de recherche

La présente étude s'inscrit dans une dynamique de contribution à la recherche d'alternatives innovantes à la lutte chimique dans une perspective de lutte intégrée contre la chenille légionnaire d'automne au Burkina Faso.

De façon spécifique elle vise à :

- réaliser à travers une approche de monitoring une situation de l'incidence de *S. frugiperda* sur les cultures vivrières et maraîchères au Centre-Ouest du Burkina Faso ;

- inventorier les méthodes de lutte utilisées par les producteurs contre la chenille légionnaire d'automne dans la région du Centre-Ouest du Burkina Faso ;
- identifier les ennemis naturelles (entomopathogènes, parasitoïdes, prédateurs) potentiels de *S. frugiperda* dans la région ;
- tester au laboratoire l'incidence de *S. frugiperda* sur quatre espèces de cultures maraîchères ;
- tester l'efficacité biologique d'agents entomopathogènes, et d'extrait aqueux d'association de plantes locales sur *S. frugiperda*.

Hypothèses de recherche

Les hypothèses desquelles nous partons pour ce travail de recherche sont :

1. les producteurs de la région du Centre-Ouest n'utilisent pas que la lutte chimique contre *S. frugiperda* ;
2. il existe des ennemis naturels de *S. frugiperda* au Centre-Ouest du Burkina Faso ;
3. la légionnaire d'automne a une forte incidence sur les cultures céralières et maraîchères au Burkina Faso ;
4. des extraits aqueux d'association de plantes et des formulations commerciales d'entomopathogènes sont efficaces contre *S. frugiperda*.

Chapitre I : Revue de la littérature

I. *Spodoptera frugiperda* JE Smith (1797)

1.1. Classification

La chenille légionnaire d'automne identifiée par J.E. Smith en 1797 sous l'appellation *Phalæna frugiperda* appartient à la famille des Noctuidae ou papillons de nuit de l'ordre des lépidoptères. La famille des Noctuidae constitue la plus grande de toutes les familles de lépidoptères et comprend un certain nombre d'espèces qui sont très destructrices pour les cultures céréalières et fourragères (Luginbill, 1928). Une classification de cette noctuelle selon CABI (2020a) est la suivante :

Domain : Eukaryota

Kingdom : Metazoa

Phylum : Arthropoda

Subphylum : Uniramia

Class : Insecta

Order : Lepidoptera

Family : Noctuidae

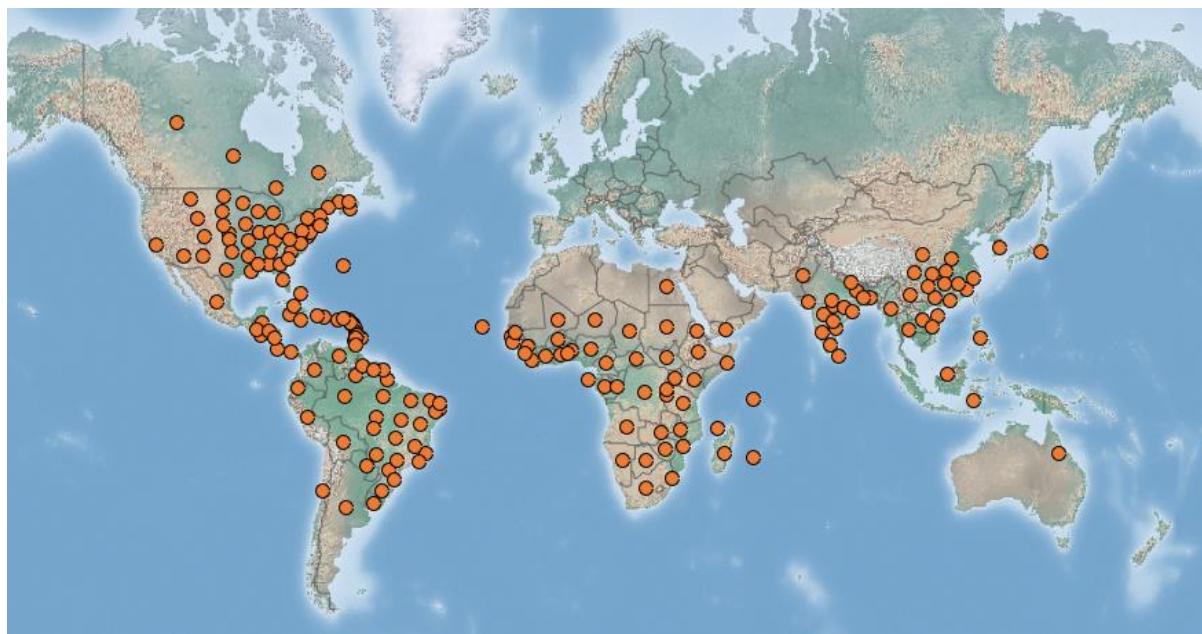
Genus : Spodoptera

Specie : *Spodoptera frugiperda*

1.2. Origine et dispersion

Spodoptera frugiperda (J. E. Smith, 1797) est originaire des régions tropicales et subtropicales des Amériques. Il vit toute l'année du Sud de l'Argentine au Nord de la Floride et du Texas (Early et al., 2018 ; CABI, 2018), au Brésil (Clark et al., 2007, Matti et Patil, 2019) et dans la majeure partie des pays du continent américain (EPPO, 2018). Le ravageur a été signalé pour la première fois en Afrique de l'Ouest (Bénin, Nigéria, Sao Tomé-et-Principe et Togo) en 2016 (Goergen et al., 2016). Cette apparition est suivie d'une invasion de toute l'Afrique au Sud du Sahara majoritairement au cours de l'année 2017 (EPPO, 2018). Le Magreb semblait être épargné par le ravageur, mais l'Egypte a enregistré ses premières infestations en juin 2019 (EPPO, 2019). Sa présence sur le continent asiatique a été confirmée en 2018 en Inde (Ganiger et al., 2018 ; Sharanabasappa, 2018a ; Srikanth, 2018 ; Chormule, 2018), à Myanmar (IPPC, 2019), au Nord de la Thaïlande (IPPC, 2018) et dans la province de Yunnan en 2019 (NATESC, 2019). Le continent Océanique est cité par CABI (2019) comme continent de transition du ravageur. Par ailleurs, selon EPPO (2018), le ravageur n'est signalé dans aucun pays du

continent Européen. Cependant, Germain et al. (2017) notaient le risque élevé d'introduction et d'établissement du ravageur sur le pourtour de la Méditerranée y compris le sud de la France, ce principalement à cause de l'intensité des échanges internationaux et des grandes capacités de dispersion naturelle du ravageur. La répartition du ravageur dans le monde est représentée dans le graphique suivant.



<https://www.plantwise.org>

Figure 1 : Aire de distribution de *Spodoptera frugiperda*

Source : CABI, 2020a

1.3. Cycle biologique

Le cycle de vie de *S. frugiperda* est variable en fonction des conditions du milieu. Il dure 30 jours en été, 60 jours pendant le printemps et l'automne et 80 à 90 jours pendant l'hiver (Capinera, 2017). Poornima et al. (2019) soulignaient que la femelle adulte peut vivre pendant 10,40 jours en moyenne contre une moyenne de 8,60 jours pour le mâle à une température comprise entre 20-24°C et une humidité relative 60 à 70%. Ramirez et al. (1987) précisaien que la durée du cycle décroît avec la température et l'optimum se situe à 28°C. Selon la même source, à une température de 10,9°C, il faut 559 degré-jours à *S. frugiperda* pour boucler son cycle de développement. Débora et al. (2019) disaient par ailleurs qu'une température de $25 \pm 1^\circ\text{C}$, une humidité relative de $70 \pm 10\%$ et une durée d'éclairage de 14h induisaient une durée moyenne de 2,69 ; 13,73 et 9,24 jours pour les stades œuf, larvaire et chrysalide respectivement. Le nombre de cycle est également variable en fonction de la période de l'année. La diapause n'existe pas chez cette espèce de lépidoptère, les infestations peuvent survenir toute l'année (Prasanna et al., 2018) dans les régions où elle est endémique avec, selon Thévenot et Dupont (2019), 4 à 6 générations par an sous les tropiques et une à deux générations dans les régions

nordiques. Le cycle de vie implique principalement quatre stades : le stade œuf, le stade larvaire, le stade chrysalide et le stade adulte.

- Le stade œuf

L'œuf de la chenille légionnaire d'automne est « oblate-sphéroïdal » mesurant 0,39 mm de hauteur et 0,47 mm de diamètre (Leginbill, 1928 ; Capinera, 2017, Prasanna et al., 2018). Les œufs sont généralement pondus en masse de deux à quatre couches de 150 à 200 œufs sur les feuilles (CABI, 2019), à la base de la plante (photo 1) mais également dans les verticilles et une femelle peut, au cours de sa vie, pondre 1500 à plus de 2000 œufs (Capinera, 2017, Prasanna et al., 2018, CABI, 2019). Les masses d'œufs sont recouvertes d'une couche d'écaillles grisâtre (Prasanna et al., 2018). D'abord vert pale à la ponte puis jaunâtre, les œufs deviennent noirs avant d'éclorent (Capinera, 2017) après une période d'incubation de 2 à 3 jours entre 20 et 30°C (Prasanna et al., 2018 ; CABI, 2019).



Photo 1 : œuf de *Spodoptera frugiperda* pondu sur une feuille du cotonnier (a) et sur une tige et une feuille du maïs (b)

Source : Jarrod et al. 2015 et (a) Prasanna et al. 2018 (b)

- Le stade larvaire

On dénombre six stades larvaires, occasionnellement cinq stades (CABI, 2019) chez *S. frugiperda* et chaque stade présente des caractéristiques propres (Leginbill, 1928 ; Prada, 2017 ; Capinera, 2017 ; Prasanna et al., 2018). En effet, le premier stade dite stade L₁ présente à l'éclosion une tête plus grosse (photo 2a) que le reste du corps de couleur verdâtre avec des soies visibles sur tout le corps (Guzmán, 2017). Les larves de stade L₁ se nourrissent des coquilles dont elles sont issues avant de se disperser à la recherche de nourriture après 4 à 10 heures d'immobilité (Leginbill, 1928). Les jeunes chenilles peuvent tisser et se suspendre à des fils de soie et, aidées par le vent peuvent se retrouver sur de nouvelles plantes (FAO, 2018). Au fur et à mesure de son développement, la tête devient de plus en plus proportionnelle au reste du corps et les soies sont moins visibles. Au stade L₂, elle a l'air hyalin, des tubercules à partir

desquels se développent les soies et des bandes latérales rougeâtres deviennent plus visibles. Au stade L₃, les bandes latérales rougeâtres sont évidentes et on observe une bande sombre sur le côté. Les trois derniers stades (L₄-L₆) sont typiquement de couleur foncée, avec des motifs de couleur variable en fonction de leur régime alimentaire et d'autres facteurs. La capsule céphalique est traditionnellement de couleur foncée, allant du brun au noir. Au début du stade L₄, la larve présente des tubercules presque incolores et sa tête devient hyaline, presque transparente. A ce stade, le front de la larve peut être marqué d'un "Y" (photo 2b) blanc inversé (Prasanna et al., 2018). Le stade L₅ est marqué par une coloration marron foncé, tandis que ses soies sont à peine visibles. Le dernier stade a un aspect perceptible : les segments sont à peine visibles, sa surface est brillante et une tache rougeâtre devient visible sur le premier segment thoracique, facilitant l'identification de ce stade. Les larves ont également un motif distinct de quatre "points" sur le huitième segment abdominal (Jarrod et al., 2015). Les larves ont tendance à se dissimuler pendant les périodes plus ensoleillées de la journée.



Photo 2 : Larves à l'éclosion (a) et larves de moyen et de grande taille avec les signes distinctifs (b)

Source : Prasanna et al. 2018

La durée de la phase larvaire varie en fonction des conditions climatiques et on l'estime à environ 14 jours pendant les mois chauds d'été et à 30 jours pendant la période froide. Le sexe influence également la durée du stade larvaire selon Débora et al. (2019) qui ont démontré que les stades L₅ et L₆ étaient plus longues chez la femelle que chez le mâle. Le temps moyen de développement selon Pitre & Hogg (1983) est de 3,3 ; 1,7 ; 1,5 ; 1,5 ; 2,0 et 3,7 jours pour les stades 1 à 6, respectivement à 25°C.

- Le stade chrysalide

La chenille légionnaire d'automne se chrysalide normalement dans le sol à une profondeur de 2 à 8 cm (Capinera, 2017 et Prasanna, et al., 2018). Juste avant ce stade, la larve adulte cesse de se nourrir pendant la période prénuptiale, et devient d'abord verdâtre puis marron vif (Poornima, 2019). Elle construit un cocon lâche de 20 à 30 mm de longueur en liant les

particules du sol à la soie (Prasanna et al., 2018). La chrysalide est de couleur brun rougeâtre mesurant entre 14 à 18 mm de longueur et environ 4,5 mm de largeur (photo 3).



Photo 3 : chrysalide de *Spodoptera frugiperda*

Source : Jarod et al., 2015

La distance entre l'ouverture génitale et la fente anale peut être utilisée pour distinguer la pupe femelle de la pupe mâle. Elle est plus importante chez la femelle que chez le mâle (Sharanabasappa et al., 2018b). La chrysalide de *S. frugiperda* supporte mal une exposition prolongée au froid et sa durée de vie est influencée par les conditions climatiques mais aussi le sexe. Elle est d'environ 8 à 9 jours pendant l'été, mais peut atteindre 20 à 30 jours pendant les périodes de froid (Prasanna et al., 2018). Débora et al. (2019) notaient que la durée du développement prénuptial ne diffère pas selon le sexe. Toutefois, selon la même source, au stade de la nymphe, la durée de la période de développement des femelles était significativement plus courte que celle des mâles.

- Le stade adulte

La longueur du corps du mâle (photo 4a) est de 1,6 cm et l'envergure des ailes de 3,7 cm (CABI, 2019). L'aile antérieure est tachetée (brun clair, gris, paille) avec une cellule discale contenant de la couleur paille sur les trois quarts de la surface et brun foncé sur un quart de la surface avec des taches blanches triangulaires à l'extrémité et près du centre de l'aile (Prasanna et al., 2018 ; CABI, 2019).

La longueur de la femelle (photo 4b) est de 1,7 cm et l'envergure de ses ailes est de 3,8 cm. Les ailes antérieures des femelles sont moins nettement marquées, allant d'un brun grisâtre uniforme à une fine marbrure de gris et de brun. Les ailes postérieures sont de couleur paille avec un bord brun foncé (CABI, 2019).



Photo 4 : mâle adulte (a) et femelle adulte (b) de *Spodoptera frugiperda*

Source: Capinera, 2017

Credits: Lyle Buss, UF/IFAS

La durée de vie des adultes est estimée à 10 jours en moyenne, avec une fourchette de 7 à 21 jours environ (Luginbill, 1928 ; Capinera, 2017).

1.4. Ecologie

S. frugiperda, sans doute d'origine tropicale n'a aucun stade de son cycle de développement qui passe l'hiver aux Etats-Unis (Luginbill, 1928). Les facteurs climatiques dont la température jouent un rôle capital dans la croissance et le développement de *S. frugiperda*. C'est une espèce adaptée aux régions chaudes et dont la durée du cycle décroît avec la température, l'optimum se situant à 28°C (Ramirez, 1987). Au-delà de 30°C les ailes des adultes ont tendance à se déformer selon les mêmes auteurs. Débora et al. (2019) ont obtenu des taux de survie des stades œuf, larvaire, pré-pupal et nymphal de 97,40, 98,33, 99,32 et 97,95 % respectivement. Simmons (1993) n'a obtenu aucune émergence d'adulte à partir des nymphes de *S. frugiperda* à 10°C et à 40°C et leur survie est réduite à 15 et à 35°C avec un nombre important de déformation. Les sols sablo-argileux ou argilo-sableux conviennent à la nymphose et à l'émergence des adultes (CABI, 2020). Un modèle construit par Wang et al. (2020), a montré que la température moyenne du trimestre le plus froid, la température minimale du mois le plus froid, la température moyenne du trimestre le plus chaud et la température maximale du mois le plus chaud constituaient les facteurs climatiques qui affectaient et contrôlaient la distribution de bio-agresseur en Chine et la gamme appropriée était respectivement de 14,77-22,86°C ; 13,33-24,35°C ; 19,15-29,73°C et 24,55-36,83°C.

1.5. Plantes hôtes et dégâts

S. frugiperda est un ravageur polyphage qui s'attaque à une large gamme de plantes avec une nette préférence pour les Poacées (Casmuz et al., 2010). Luginbill (1928) avait répertorié 58

espèces de plantes attaquées par le bio-agresseur. Il avait par ailleurs indiqué que la liste n'était pas exhaustive et que l'insecte avait une préférence marquée pour des plantes telles que la digitaire, le maïs, le sorgho et le bermuda. Cette gamme de plantes hôtes s'est effectivement élargie à plus de 80 espèces végétales appartenant à 27 familles (Pashley, 1988 ; Yu et al. 2003 ; Zenner et al., 2007 ; Flanders et al. 2017 ; Prasanna et al., 2018). Grâce aux travaux de synthèse bibliographique et d'enquêtes menées au Brésil par Montezano et ses collaborateurs, 353 plantes appartenant à 76 familles dont principalement des Poaceae (106), des Asteraceae (31) et des Fabaceae (31) ont été répertoriées en 2018 comme hôtes larvaires de *S. frugiperda*.

Le maïs est l'une des cultures les plus attaquée par *S. frugiperda* et pourrait en constituer l'un des ravageurs les plus difficiles à contrôler (Bessin, 2003). Les dégâts se manifestent par la perte de la zone photosynthétique, des dommages structurels dans le verticille, la verse et des dommages causés aux grains (Chimweta, 2019). Abrahams et al. (2017) sur la base d'estimations prenant en compte neuf grands pays producteurs de maïs en Afrique subsaharienne (hormis l'Afrique du Sud) ont montré que sans mesures de lutte, ce bio agresseur pourrait réduire la production du maïs de 8,3 à 20,6 millions de tonnes par an sur la production totale estimée de 39 millions de tonnes. Au Brésil, *S. frugiperda* est considéré comme le principal insecte nuisible du maïs (Lima et al., 2010) pouvant provoquer jusqu'à 34 % de réduction du rendement des grains et 400 millions \$US de pertes annuelles (Figueiredo, 2005). Ces pertes de la qualité des graines et la baisse des rendements sont principalement liées à l'alimentation des larves âgées dans les verticilles et les épis (Abrahams, et al., 2017 et Capinera, 2017) bien que les principaux dommages causés sur le feuillage soient liés à l'alimentation des jeunes larves (Bhusal et Chapagain, 2020).

II. Monitoring et identification de *Spodoptera frugiperda*

2.1. Monitoring

Le monitoring indique un effort pour suivre la présence, le peuplement et le mouvement d'un ravageur dans une zone géographique bien déterminée (Prasanna et al. 2018) à travers des actions de dépistage et de piégeage principalement (Habraham et al., 2017). Le dépistage peut se faire en observant minutieusement dix (10) plants successifs et en relever le stade de croissance de la plante, le nombre de plantes avec des masses d'œufs ou des larves (Habraham et al. 2017 ; FAO, 2018). Les phéromones ont longtemps été utilisés et constitués un outil important dans le suivi des populations de *S. frugiperda* (Adams et al., 1989 ; Malo et al., 2001, Meacher, 2001 ; Maegher et Nagoshi, 2003 ; Cruz et al., 2012). Ce suivi à l'aide de phéromones est très utile car la pression du ravageur peut varier d'une exploitation à l'autre et d'une saison

à l'autre. La connaissance du moment de l'apparition du ravageur grâce à des captures de mâle permet une alerte précoce en plus d'orienter les intervention surtout chimiques (Cruz et al., 2010). Cruz et al. (2012) proposent trois critères d'études pour le choix d'une intervention chimique : (i) le nombre d'insectes adultes capturés par les pièges, (ii) le pourcentage de plante présentant des dégâts de types trou d'épingle et (iii) le nombre de plantes présentant des dégâts type trou de balle. Les résultats de cette étude ont montré que le système de piégeage pouvait être un bon moyen de décision pour les interventions surtout chimiques. Cependant, Cruz et al. (2012) font remarquer que d'autres paramètres telles que la température, le stade de croissance de la culture et même le contrôle naturel du ravageur doivent être pris en compte étant donné que les pièges ne capturent que des mâles alors que les dégâts sont causés par les larves. En effet, Rojas et al., (2004) ont montré que les captures des pièges étaient en corrélation positive avec la vitesse du vent et la température et en corrélation négative avec l'humidité relative de l'air.

2.2. Identification

Le genre *Spodoptera* compte 31 espèces dont 9 en Asie, 2 en Océanie, 7 en Afrique, 17 en Amérique du Nord et du Sud et 2 en Europe. Environ une quinzaine d'entre elles sont considérées comme nuisibles de cultures dont *S. eridania* (Cramer), *S. frugiperda* (Smith), *S. littoralis* (Boisduval) et *S. litura* (F) selon Pogue (2002). Grâce à leur grande capacité de migration, certaines espèces comme *S. frugiperda* (Pogue, 2002 ; CABI, 2016) originaire du continent américain sont présents sur le continent africain depuis 2016 (Goergen et al., 2016) et sur le continent asiatique depuis 2018 (Sharanabasappa, 2018 a ; Guo et al., 2018 ; IPPC, 2018 ; IPPC, 2019 ; NATESC, 2019).

Les espèces de ce genre de Lépidoptère (de nuit et de jour) se distinguent morphologiquement mais des différences génétiques peuvent aussi s'observer au sein d'une même espèce. Selon Paslhey et al. (1985) deux souches de *S. frugiperda* existent : la souche R inféodée au riz et souche C « dite souche de maïs ». La première se nourrissant préférentiellement de riz et de diverses herbes de pâturage et la seconde de maïs, de coton et de sorgho (Hebert et al., 2003) même si les mêmes auteurs reconnaissent que cela peut varier du point de vue géographique.

- Identification morphologique de *Spodopetra frugiperda*

S. frugiperda peut avoir plusieurs générations par an avec un cycle de vie comprenant l'œuf, la larve, la pupe et l'adulte (Jarrode, 2015 ; Prasanna et al., 2016) à l'image des autres espèces du même genre avec des différenciations morphologiques. En effet, *S. frugiperda* pond sur des plantes sans trop de discrimination (Leginbill, 1928) et les recouvre d'écailles grisâtres

(Prasanna et al, 2016). Une description détaillée de toutes les étapes de développement de la larve de *S. frugiperda* permettant une nette identification à ce stade est proposée par Prada et al. (2017). Selon Pogue (2012), le mâle de *S. frugiperda* ressemble à celui de *S. ornithogalli*, sauf que l'apex de son aile antérieure est marqué d'une tache blanche et dépourvu d'écailles blanches à l'extrémité de la cellule discale le long des nervures M et Cua. De même, la couleur de fond de l'aile antérieure de la femelle est brune et ressemble à celle de *S. exigua*, mais la tâche orbiculaire de *S. frugiperda* est ovale et les écailles centrales sont foncées (photo 5). Les organes génitaux mâles de *S. frugiperda* sont dotés de valves larges, rectangulaires, l'apex est tronqué, les coremata sont à un seul lobe, allongés. Les organes génitaux femelles *S. frugiperda* sont dotés d'une plaque ventrale de l'ostium bursa allongée, le bord distal est droit.

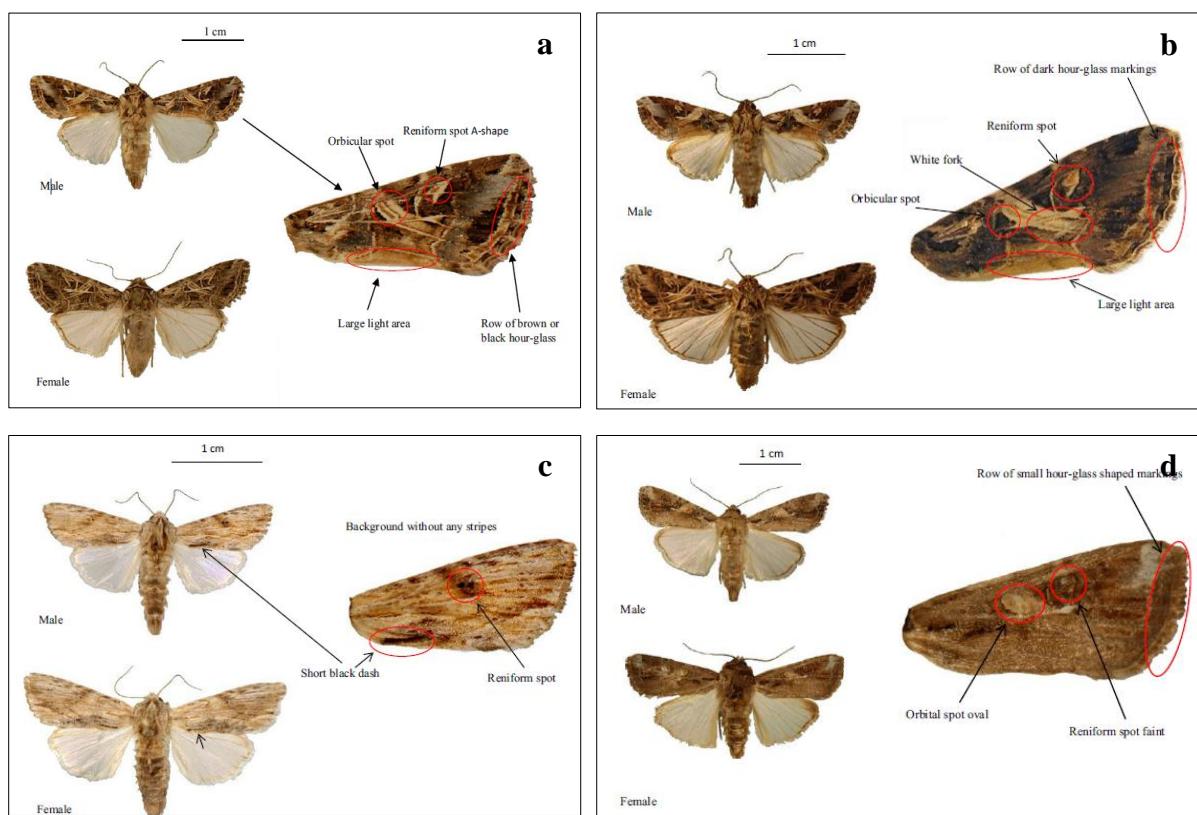


Photo 5 : Morphologie comparée des adultes de quatre espèces du genre Spodoptera
a : *Spodoptera littoralis* ; b : *Spodoptera litura* ; c : *Spodoptera eridania* ; d : *Spodoptera frugiperda*

Source : OEPP/EPPO, 2015 ; Photos © J.-F. Germain, Anses, FR.

Ces caractéristiques morphologiques permettent de distinguer les individus de l'espèce *S. frugiperda* de ceux des autres espèces du même genre (OEPP/EPPO, 2015). Mais Hebert et al. (2003) reconnaissent l'effondrement de l'expertise taxonomique bien qu'une grande partie de la recherche biologique dépende du diagnostic des espèces et restent convaincues que la seule

perspective d'une capacité d'identification durable réside dans la construction de systèmes qui utilisent des séquences d'ADN comme "codes-barres" des taxons.

- **Caractérisation moléculaire de *Spodoptera frugiperda***

Les stades larvaires précoce (L1 et L2) de *S. frugiperda* peuvent ressembler à ceux d'autres espèces de noctuidés. Il en est de même pour les œufs qui sont difficiles à distinguer de ceux des autres espèces de *Spodoptera* sans oublier les différences qui peuvent subsister au sein de l'espèce *S. frugiperda*. En effet, les travaux de Pashley et al., (1985) et de Pashley (1988), ont mis en évidence l'existence de deux souches de *S. frugiperda* (la souche de maïs et la souche de riz) qui diffèrent par le loci d'allozyme et leurs profils d'enzymes de restriction de l'ADNmt, par leur développement sur une variété de plantes et par leur résistance aux insecticides. Ces souches sont morphologiquement indiscernables et seule une caractérisation moléculaire permet de les distinguer. Cette identification basée sur le matériel génétique consiste en l'extraction de l'ADN, la multiplication par PCR, le séquençage et à la révélation. Elle implique également l'utilisation de marqueurs moléculaires (Nagochi et al., 2012 ; Machado et al., 2008 ; Nagoshi et al., 2019 ; Cock et al., 2017 ; Bhavani et al. 2019 ; Jacobs et al., 2018 ; Jing et al., 2019).

III. Mode de gestion de *Spodoptera frugiperda*

Pour contrôler le ravageur et réduire les pertes de production qu'il pourrait provoquer, plusieurs méthodes de contrôles sont mises en œuvre dans les Amériques (Leginbill, 1928) regroupant des méthodes agronomiques, biologiques, génétiques et chimiques et dont certaines pourraient être intéressantes dans les nouvelles zones colonisées par le ravageur comme l'Afrique selon Parasanna et al. (2018) et FAO (2018).

3.1. Méthodes agronomiques

Le désherbage des champs de cultures attaquées par *S. frugiperda* constitue un moyen efficace pour réduire les dégâts causés par le ravageur comme le disait Leginbill en 1928. Leginbill (1928) proposait, lorsque les infestations sont trop importantes sur des cultures comme la luzerne, de les couper pour en faire du foin et de creuser un sillon autour de la culture pour empêcher le mouvement des larves hors de celle-ci.

Tableau 1 : Options de lutte culturelle et de gestion paysagère recommandées pour la lutte contre la chenille légionnaire d'automne en Afrique

Méthodes	Description	Efficacité	Coût	Source
Planter au moment Recommandé /optimal	Ne pas retarder la plantation. Profiter pour planter dès les premières pluies, puisque les populations des Chenilles légionnaires d'automne n'apparaissent que plus tard durant la saison des cultures.	Des données provenant des recherches menées sur d'autres foreurs de tiges de maïs montrent que les semis précoces ou à temps ont plus de chances d'échapper à l'infestation par les insectes, comparativement aux semis tardifs	Faible	Gebre-Amlak <i>et al.</i> (1989) ; Van den Berg and Van Rensburg (1991)
Nutrition des plantes	Approvisionnement adéquat en nutriments par l'engrais minéral, utilisation des arbres et de légumineuses fixatrices d'azote, de fumiers organiques ou le composte favorisant la croissance saine des plantes.	Une bonne fertilisation réduit les dégâts en augmentant la santé des plantes et leur mécanisme de défenses contre les ravageurs, mais les dégâts peuvent augmenter avec une application excessive d'azote.	Moyen : si l'achat d'intrants supplémentaires est nécessaire	Altieri et Nicholls (2003) ; Morales <i>et al.</i> (2001) ; Rossi <i>et al.</i> (1987)
Cultures mixtes avec des Cultures d'accompagnement ou des arbres fertilitaires compatibles	Planter d'autres cultures en bandes, en rangées ou en stations entre la culture principale (<i>par ex.</i> pois d'angole, manioc, patates douces, niébé, haricot, citrouilles ou arbres fertilitaires [<i>par ex.</i> , Tephrosia, Gliricidia ou Faidherbia albida])	Probablement plus efficace lorsque des plantes non hôtes sont utilisées (par exemple, manioc ou arbres fertilitaires) ou lorsque la diversité des cultures peut interrompre la ponte, et peut augmenter la diversité des organismes utiles, y compris les ennemis naturels du ravageur. Par exemple, le Tephrosia est une source d'insecticides naturels et peut réduire la ponte.	Faible : souvent une pratique traditionnelle.	Pichersky et Gershenson (2002) ; Landis <i>et al.</i> (2000) ; Coolman et Hoyt (1993)

Agriculture de conservation (AC)	L'utilisation combinée du labour zéro, de la rétention de résidus et de la rotation augmente et diversifie l'activité biologique au niveau macro - (araignée, coléoptère, fourmis), méso- (champignons) et microfaune (bactéries). Ces pratiques contribuent également à améliorer la santé des sols, ce qui contribue à une croissance plus vigoureuse	Efficace, si tous les principes de l'AC sont appliqués et poursuivis pendant un certain temps. Contrairement aux autres ravageurs, la chenille légionnaire d'automne ne peut être contrôlée par le brûlage des résidus de cultures. Note : L'AC peut réduire l'accès des plantes à l'azote si cela est limité, ce qui pourrait réduire la santé et la vigueur des plantes et augmenter les taux d'attaque des ravageurs. Ceci peut être évité en ajoutant de l'engrais ou en mettant en place des cultures intercalaires à base d'arbres fertilitaires (<i>par ex.</i> : l'AC avec l'agroforesterie)	Moyen : certains outils et intrants spécifiques peuvent être nécessaires pour établir des systèmes de AC efficaces.	All (1988) ; Tillman <i>et al.</i> (2004) ; Rivers <i>et al.</i> (2016)
Augmenter la Couverture végétale	Les plante de couverture telles que le mucuna, les haricots lablab, le pois sabre, la crotalaire effilée, etc., contribuent à la diversité des espèces végétales qui favorisent les activités biologiques et fournissent un abri aux ennemis naturels (araignées, coléoptères, fourmis).	L'utilisation d'une gamme de cultures de couverture peut être efficace comme cultures pièges, cultures insectifuges qui interrompent la ponte et le développement larvaire, et comme abri pour les ennemis naturels	Moyen : Disponibilité des semences et la convenance des plantes de couverture	Altieri <i>et al.</i> (2012) ; Bugg, <i>et al.</i> (1991); Hoballah <i>et al.</i> (2004); Ratnadass <i>et al.</i> (2011) ; Meagher <i>et al.</i> (2004) ; Wyckhuys et O'Neil (2007)
Haies et clôtures vives	Les systèmes de culture complexes influencent les interactions du biotope	Les champs proches des haies sont habituellement moins infestés de : des terres	Modéré a élevé	

	<p>et augmentent l'efficacité des ravageurs en raison des activités supplémentaires parasitoïdes. Fournissent une diversité et des habitats supplémentaires aux ennemis naturels pour proliférer et contribuer à la lutte contre les ravageurs (oiseaux, araignées, fourmis). La plantation de clôtures ou de haies vives, l'entretien des zones non cultivées, le désherbage en partie ou en totalité de la culture, la plantation d'autres cultures ou arbres fruitiers dans les champs voisins.</p>	<p>Veres <i>et al.</i> (2013) ; Landis <i>et al.</i> (2000) ; Martin <i>et al.</i> (2016) ; Marino et Landis (1996) ; Wyckhuys et O'Neil (2007)</p>
Améliorer les systèmes agroforestiers au niveau du paysage	<p>Planter des arbres / arbustes entre le maïs, en particulier neem, Tephrosia, Gliricidia, Faidherbia albida, etc., pour accroître la diversité des ennemis naturels (insectes utiles et oiseaux).</p>	<p>Une intervention à long terme pour créer la biodiversité et la lutte biologique contre les ravageurs peut être très efficace une fois les arbres établis.</p> <p>Moyen : les terres doivent être partagées avec les cultures principales.</p> <p>Wyckhuys and O'Neil (2006); Wyckhuys and O'Neil (2007) ; Hay-Roe <i>et al.</i> (2016) Ratnadass et <i>al.</i> (2011)</p>

Source : Prasanna *et al.*, 2018 : adaptation du document intitulé CABI Evidence Note (2017).

Il recommandait également un semi tardif du blé afin d'éviter une coïncidence de la période sensible de la culture avec l'apparition du bio agresseur. Smith et Abbot (1797) ont obtenu des résultats satisfaisant avec une inondation pendant deux jours de parcelles de riz infestées par *S. frugiperda*.

Nombre de ces méthodes sont confirmées par des études récentes comme c'est le cas de Anyim et al. (2019) au Nigéria qui ont montré que la fréquence de désherbage était inversement corrélée à la population de *S. frugiperda*.

Egalement, une implantation des cultures dès les premières pluies en Afrique peut être efficace contre la chenille légionnaire puisqu'elle n'apparaît que plus tard dans la saison (Prasanna et al., 2018). D'autres méthodes culturales et de gestion paysagère sont résumées sur la base d'une adaptation de CABI Evidence Note par les mêmes auteurs dans le tableau 1 ci contre.

La technique Push-Pull qui est une autre méthode de gestion des ravageurs des cultures combinant l'utilisation de cultures intercalaires répulsives comme le *Desmodium spp.* et de culture pièges attractives du ravageur (*Pennisetum purpureum* ou *Bracharia spp.*) a fait ses preuves dans la gestion de la chenille légionnaire en Afrique de l'Est (Midega et al., 2018 ; Prasanna et al., 2018).

3.2.La lutte biologique

La lutte biologique peut être définie comme l'utilisation d'organismes vivants (parasites, prédateurs ou agents pathogènes) pour réguler la population d'un organisme à des densités inférieures à celles qui se produisent en leur absence (DeBach, 1964 in Prasanna et al., 2018). Selon cette définition, toutes les méthodes de lutte non chimiques ne peuvent être considérées comme méthodes de lutte biologique. Ainsi, selon Boivin (2001), l'utilisation des produits chimiques extraits des plantes ou de microorganismes (*Bt* par exemple), la sélection variétale par introduction de gènes résistants aux insectes et aux maladies et l'utilisation des produits sémiochimiques (phéromones) ne sont pas considérées comme méthodes de lutte biologique. En fonction des modalités d'utilisation de ces organismes vivants, on peut distinguer la lutte biologique classique, la lutte biologique inondative et la lutte biologique de conservation (Prasanna et al., 2018).

3.2.1. Les parasitoïdes

Un parasitoïde est une espèce d'insecte qui se développe au dépend d'un seul animal hôte en vivant de manière parasitaire sous forme de larve ; mais l'adulte vit en liberté et peut finalement parasiter de nombreux hôtes en pondant sur ou dans leur hôte qui finissent par les consommer (Price, 1984).

Plusieurs études réalisées dans les Amériques ont permis de mettre en évidence une diversité considérable de parasitoïdes de *S. frugiperda* pouvant s'attaquer à plusieurs stades de développement du bio agresseur (Fernandes et al., 2018, Asley et al., 1983 ; Contreras-Cornejo et al., 2018). *Telenomus remus* est l'un des agents de bio-contrôle le plus utilisé dans la lutte biologique contre *S. frugiperda* (Bhusal et Chapagain, 2020).

En Afrique, à cause de son introduction relativement récente (Goergen et al., 2016), le premier rapport relatif aux ennemis naturels de *S. frugiperda* date de 2018. Ces premières investigations conduites par Sisay et al. (2018) en Ethiopie, en Tanzanie et au Kenya ont permis de répertorier cinq espèces de parasitoïdes d'œufs et de larves de *S. frugiperda*, dont quatre chez les Hyménoptères (*Cotesia icipe*, *Charops ater*, *Coccycidium luteum* et *Chelonus curvimaculatus*) et un chez les diptères (*Palexorista zonata*). Par ailleurs, dix espèces parasites de ravageurs ont été répertoriées par Agboyi et al., (2020) dans deux pays de l'Afrique de l'Ouest (Ghana et Bénin), dont deux parasitoïdes des œufs, un parasitoïde des œufs et de larves, cinq parasitoïdes des larves et deux parasitoïdes des larves et des nymphes avec *Chelonus bifoveolatus* et *Coccycidium luteum* les deux parasitoïdes les plus abondants.

Les recherches sur le continent asiatique ont également permis de trouver en Inde *Coccycidium melleum*, *Campoletis chlorideae*, *Eriborus* sp., *Exorista sorbillans*, et *Odontepyris* sp qui sont des parasitoïdes *S. frugiperda* (Sharanabasappa et al. 2019).

3.2.2. Les prédateurs

Un prédateur est un organisme, généralement polyphage qui se nourrit de nombreuses proies (Ryckewaert et Leblay, 2004) qu'il consomme lors de son développement (Pintureau, 2015 ; FAO, 2018). Les prédateurs sont en général non sélectifs ou généralistes se nourrissant de plusieurs espèces. Nombre d'insectes des ordres Coleoptera, Hemiptera et Hymenoptera ainsi que des vertébrés (mammifères, des amphibiens et des oiseaux) ont été recensés dans les Amériques par Luginbill (1928) comme prédateurs de *S. frugiperda*. Plusieurs espèces de ces ordres d'insectes ainsi que des Dermoptères ont été citées par Prasanna et al. (2018) comme potentiellement présents en Afrique.

3.2.3. Les agents entomopathogènes

Les entomopathogènes sont largement répandus dans l'environnement et sont connus pour être potentiellement la cause de maladies chez bon nombre d'insectes et environ 3000 agents entomopathogènes sont rapportés (Sowjanya et Varma, 2015). Parmi les entomopathogènes utilisés dans la gestion de *S. frugiperda* on compte des virus, des bactéries, des champignons et des nématodes.

- Les virus entomopathogènes

Les Baculovirus constituent le groupe de virus le plus utilisé dans la formulation des insecticides à base de virus à raison de leur fort taux de virulence et leur spécificité, mais aussi pour leur innocuité pour les vertébrés (Souza, 2007 ; Barrera et al., 2011 ; Xu et al., 2013). De ce groupe, ce sont les granulovirus (SFGV) et les nucléopolyhédrovirus (SfMNPV) qui ont été les plus étudiés pour la lutte contre *S. frugiperda* (Barrera et al., 2011) avec une spécificité marquée de SfMNPV pour les larves de *S. frugiperda* (Prasanna et al., 2018). Une étude de la virulence de deux souches SfMNPV-6nd et de SfMNPV-19 a montré que la souche SfMNPV-6nd mettait plus de temps à tuer les larves même si statistiquement aucune différence significative n'a été trouvé entre les deux souches, point de vue efficacité (Vieira et al., 2012).

- Les bactéries entomopathogènes

Plus d'une centaine de bactéries appartenant à trois familles (Bacillaceae, Enterobacteriaceae et Pseudomonadaceae) (Greathead et al., 1994) ont été caractérisés comme bactéries entomopathogènes (Starnes et al., 1993). Selon Rose-Garcia (2009), *Bacillus thuringiensis* et *Bacillus sphaericus* sont les bactéries les plus utilisées contre les ravageurs. Ce sont des bactéries gram-positives et terricoles produisant des delta-endotoxines (protéines cristallines) ayant des propriétés insecticides (Prasanna et al., 2018). Plusieurs formulations de *Bacillus thuringiensis* (*Bt*) existent, mais après un test réalisé avec cinq souches (*Bt dendrolimus* HD 37, *Bt aizawai* HD 68, *Bt kurstaki* HD 73, *Bt darmstadiensis* HD 146, et de *Bt thuringiensis* 4412 sur *S. frugiperda*, Polanczyk (2000) conclut que le bio-agresseur est plus sensible à *Bt aizawai* HD et à *Bt thuringiensis* 4412.

- Les champignons entomopathogènes

On dénombre plus de 700 espèces de champignon appartenant à environ 90 genres qui sont pathogènes des insectes (Khachatourians and Sohail, 2008 ; Hemasree, 2013). Malgré ce potentiel, seuls quelques-uns ont été étudiés de manière approfondie selon Khan et Ahmad (2015). Les champignons entomopathogènes ont un large spectre d'action et peuvent s'attaquer à divers stades de développement de plusieurs insectes (Alves et al., 2008) ce qui constitue un avantage supplémentaire par rapport aux autres agents entomopathogènes (Anand, 2009). Un travail de synthèse réalisé par Faria et Wraight en 2007, fait ressortir plus de 171 formulations d'insecticides à base de champignons depuis les années 1960. Nombre d'entre elles sont faites à base de quatre espèces de champignons : *Bauveria bassiana* (33,9%), *Metarhizium anisopliae* (33,9%), *Isaria fumosorosea* (5,8%) et *Beauveria brongniartii* (4,1%).

Presque tous les champignons infectent leurs hôtes en pénétrant par la cuticule grâce à divers enzymes libérés pendant la germination des spores. Une fois dans l'hémocoele, le champignon se multiplie par bourgeonnement ou par scission des hyphes produisant ainsi des cellules de types levures qui se disséminent dans tout le corps de l'insecte qui meurent par asphyxie ou inanition lorsque la plupart des organes sont colonisés par le mycélium (Greathead et al., 1994). Selon les mêmes auteurs, la mort peut également être liée à des substances toxiques et dans ce cas le mycélium se développe dans le cadavre. Les hyphes, qui poussent très rapidement absorbant les substances nutritives et l'eau, ce qui déshydrate complètement l'insecte et le momifie.

Les genres de champignons pathogènes d'insectes prédateurs les plus couramment rencontrés appartiennent à l'ordre des Hypocreales. Les genres les plus communs attaquant *S. frugiperda* sont *Beauveria* et *Metharhizium* (Vincent et al., 2007, CABI, 2019). Rivero-Borja et al. (2018) ont obtenu des taux d'efficacité pouvant atteindre 44% avec environ 93% des cadavres montrant une sporulation lorsque *B. bassiana* et *M. anisopliae* sont appliqués simultanément avec du Chlorpyrifos-ethyl et du Spinosad contre des larves de *S. frugiperda*.

- Les nématodes entomopathogènes

Les nématodes entomopathogènes de la famille des Heterorhabditidae et celle des Steinernematidae sont les seuls nématodes endoparasites des insectes possédant des attributs facilitant leur utilisation dans le processus de lutte biologique contre les insectes ravageurs des cultures (Lacey, 2017) et dont l'utilisation date des années 1930 (Ehlers et Peters, 1996). On les retrouve naturellement dans le sol dans le monde entier (Hominick, 2002). Ces nématodes sont en association mutualiste obligatoire avec des bactéries des genres *Photorhabdus* et *Xenorhabdus* que l'on retrouve dans les intestins des nématodes juvéniles infectieux. Le nématode pénètre dans l'insecte à travers les ouvertures naturelles (anus, bouche ou spiracles) mais aussi la cuticule (Shapiro-Ilan, 2017). Les bactéries sont alors libérées et tuent l'hôte dont ils digèrent les tissus donnant ainsi une source d'alimentation au nématode qui s'y nourrit après une mue (Lacey, 2017). Le nombre de générations du nématode dans l'hôte est fonction de la quantité de nourriture. Le nématode se transforme en stade juvénile infectieux et séquestre à nouveau les bactéries avant de sortir du cadavre pour rechercher un autre hôte (Shapiro-Ilan, 2017). Fuxa et al. (1988) ont testé quatre populations de nématodes sur différents stades de développement de *S. frugiperda* et ont obtenu une mortalité de 100% avec 1 nématode de *S. feltiae* / 0,7ml d'eau sur les larves de premier stade. Une expérimentation réalisée par Andaló et al. (2010) avec dix-sept (17) espèces de nématodes sur des larves de *S. frugiperda* a montré

que les espèces *Steinernema arenarium* et *Heterorhabditis sp* étaient les nématodes les plus virulents pouvant être utilisés dans la gestion biologique du ravageur.

3.3.Résistances variétales

La lutte génétique est basée sur l'utilisation des variétés améliorées résistantes aux attaques de *S. frugiperda*. Les premiers travaux de recherches de variétés résistantes aux nuisibles des cultures dates des années 1900 avec notamment ceux de Hinds (1914) qui avait montré une résistance partielle du germoplasme du maïs à *Helicoverpa zea*. La tolérance, l'antibiose et l'antixénose sont les trois grands types de résistance des plantes aux insectes définies par Painter (1951) et reprises par Clavel et Welcker en 1996. La tolérance définie la capacité de la plante à supporter, point de vue développement et production les attaques des insectes qui entraîneraient une réduction significative chez les variétés sensibles. Quant à la résistance par antibiose, elle définit la situation où la plante provoque un effet négatif sur la biologie de l'insecte à moyen terme. Une plante est dite résistante par antixénose lorsqu'elle provoque un effet négatif sur le comportement de l'insecte sur le court terme.

En Afrique, des recherches préliminaires dans des pays comme le Cameroun, l'Egypte, le Ghana, le Kenya, le Malawi, le Nigeria, et l'Ouganda, sur des variétés résistantes ont donné des résultats encourageants pour la gestion de *S. frugiperda*. Le maïs transgénique *Bt* est autorisé en Afrique du Sud (Rwomushana, 2018).

3.4.Utilisation des pesticides botaniques

L'utilisation de pesticides produits à partir des végétaux (couramment appelés «botaniques») dans la gestion des ravageurs est une pratique culturelle de la plupart des agriculteurs africains et peut y offrir un arsenal potentiel contre la chenille légionnaire d'automne (FAO, 2018). En effet, Baskar et al. (2011) ont obtenu une activité anti-appétant à 68% et pupicide à 70% avec un extrait d'acétate éthyle de *Hygrophila auriculata* concentré à 5% sur *S. litura*. Magrini et al. (2015) ont étudié l'activité biologique de l'acétate d'éthyle et des extraits ethnologiques des fruits et des graines de *Cabralea canjerana* sur des œufs, des larves et des pupes de *S. frugiperda* et ont obtenu une forte activité larvicide. Prasanna et al. (2018) ont résumé la littérature relative aux pesticides botaniques potentiellement utilisables contre *S. frugiperda* dans l'aire d'origine de bio-agresseur (tableau 2).

Tableau 2 : Pesticides botaniques potentiels contre la chenille légionnaire d'automne, sur la base des études en Amérique.

Espèce	Famille	Extrait	Mode d'action	Référence
<i>Azadirachta indica</i>	Meliaceae	0,25% huile de margousier	Larvicide avec une mortalité en laboratoire allant jusqu'à 80%	Tavares <i>et al.</i> (2010)
<i>Aglaia cordata Hiern</i>	Meliaceae	Hexane et éthanol extraits de graines	Larvicide avec une mortalité en laboratoire allant jusqu'à 100%	Mikolajczak <i>et al.</i> (1989)
<i>Annona mucosa Jacquin</i>	Annonaceae	Ethanol extrait des feuilles	Ovicide	Tavares <i>et al.</i> (2009)
<i>Vernonia holosenicea,</i> <i>Lychnophora ramosissima, et</i> <i>Chromolaena Chaseae</i>	Asteraceae	Ethanol extrait des feuilles	Ovicide	Tavares <i>et al.</i> (2009)
<i>Cedrela salvadorensis</i> et <i>Cedrela Dugessi</i>	Meliaceae	Dichlorométhane extrait de bois	Régulation de la croissance des insectes (RIG) et larvicide avec une mortalité allant jusqu'à 95%	Céspedes <i>et al.</i> (2000)
<i>Myrtillocactus geometrizans</i>	Cactaceae	Méthanol extrait des racines et d'autres parties aériennes	Régulation de la croissance des insectes (RIG), larvicides, pupaison retardée	Céspedes <i>et al.</i> (2005)
<i>Poivre long, Piper hispidinervum</i>	Piperaceae	Huiles essentielles extraites des graines	Affecte la spermatogenèse et donc la ponte	Alves <i>et al.</i> (2014)
<i>Melia azedarach</i>	Meliaceae	Extrait éthanolique des feuilles	Empêche la larve de se nourrir ; synergie avec les pesticides	Bullangpoti <i>et al.</i> (2012)
<i>Jatropha gossypifolia</i>	Euphorbiaceae	Ethanol extrait des feuilles	Empêche la larve de se nourrir ; synergique avec les pesticides	Bullangpoti <i>et al.</i> (2012)
<i>Ricinus communis</i>	Euphorbiaceae	Huile de ricin et Ricinine (extraits de graines)	Inhibition de la croissance et larvicide	Ramos-López <i>et al.</i> (2010)

Source : Prasanna *et al.*, 2018.

Sur le continent africain, les pesticides botaniques constituent un arsenal de lutte contre les ravageurs des cultures et peuvent être une piste pour la lutte contre *S. frugiperda*. Kambou et Millogo (2018) ont montré que des extraits aqueux de *Cassia nigricans* (Fabaceae), donnaient un coefficient d'efficacité biologique moyen de 62 sur les larves de *S. Frugiperda* et un surplus de rendements de 20% par rapport au témoin négatif. Selon Mugisha-Kamatenesi et al. (2008) les producteurs autours de Lac Victoria ont essayé des extraits des plantes pour la lutte contre les nuisibles des cultures.

3.5. La lutte chimique

Des produits chimiques ont longtemps été utilisés dans la lutte contre ce ravageur. Depuis les années 1900, des produits à base d'arsenate de plomb, de cuivre, de zinc, de calcium étaient pulvérisés contre *S. frugiperda*. D'autres substances étaient utilisées soit par poudrage ou sous forme d'appât contre le ravageur (Luginbill, 1928). Lhoste et Normand (1987) rappelaient que dans l'attente d'une possible extension de la lutte intégrée à de nombreuses cultures, Strebler constatait que la lutte chimique restait encore indispensable. Cette lutte chimique utilise des pesticides chimiques de synthèses contre le ravageur.

La protection de la culture est parfois nécessaire en début de culture et au début du stade épiaison (Capinera, 2017). Les applications de pesticides, si elles sont nécessaires, doivent donc être programmées de manière à coïncider avec la présence des jeunes larves, les stades avancés ont tendance à se camoufler dans les verticilles des feuilles et donc sont difficilement atteintes par les insecticides (Day et al., 2017). Si l'attaque est tardive, la chenille peut se trouver à l'intérieur de l'épis et elle mange les grains de maïs (Garba et al., 2017). Malheureusement, l'utilisation généralisée et parfois indiscriminée des insecticides a contribué au développement de populations résistantes à plusieurs classes d'insecticides notamment les organophosphorés, les carbamates, les pyréthrinoïdes, etc. (Yu et al., 2003).

L'utilisation des pesticides chimiques de synthèse constitue majoritairement le moyen de contrôle du ravageur en Afrique (Habraham, 2017 ; Kumela et al., 2019) et nombre des pesticides accessibles en Afrique figurent parmi ceux auxquels le ravageur a développé des résistances en Amérique (Day et al., 2017).

3.6. La gestion intégrée

La lutte intégrée contre les bio-agresseurs repose, selon le Schowalter, sur la perspective que : i) les insectes ne sont pas toujours nuisibles, ii) les stratégies de gestion doivent être compatibles avec les processus écologiques afin d'éviter les effets néfastes sur les espèces non

cibles et les services écosystémiques, iii) les efforts de lutte ne sont justifiés que lorsque l'abondance des insectes dépasse un seuil d'action basé sur les objectifs de gestion des ressources et iv) de multiples techniques doivent être déployés afin de minimiser les adaptations des insectes à une seule technique.

Dans le contexte de la lutte contre *S. frugiperda*, une lutte intégrée tiendra compte d'une diversité d'approches combinant la résistance variétale, la lutte biologique, les pratiques culturelles, les pesticides moins toxiques (Prasanna et al., 2018 ; Zimmermann, 2007). CABI (2019) rappelle l'existence de pratiques culturelles peu coûteuses, comprenant une combinaison d'approches écologiques moins favorables à la prolifération du ravageur mais propices à celle des ennemis naturels, qui peuvent s'intégrer dans la logique d'une gestion intégrée des nuisibles des cultures. Ces méthodes sont particulièrement pertinentes pour les petits producteurs qui ne disposent que de peu de moyens pour acquérir des pesticides.

Chapitre II : Matériel et méthodes

I. Zone d'étude

Le Burkina Faso est un pays enclavé d'une superficie de 274 000 km² situé dans la partie ouest du continent africain et faisant frontière avec le Mali, le Niger, le Bénin, le Togo, le Ghana et la Côte d'Ivoire (www.infosdafrrique.com). Le climat du Burkina est de type tropical caractérisé par deux saisons bien distinctes (une saison sèche et une saison hivernale) avec quatre (4) variantes spécifiques : une période humide de juin à septembre, sèche et chaude de septembre à novembre, sèche et fraîche de décembre à mars et chaude de mars à juin. Le pays est subdivisé en trois (3) zones climatiques :

- une zone de climat sahélien au Nord : on y enregistre 3 mois de pluies avec moins de 600mm d'eau/an, des températures extrêmes allant de 10° à 45°C ;
- une zone de climat nord-soudanien au centre : 4 à 5 mois de pluies, 600 à 1000mm d'eau/an, températures comprises entre 13° et 40°C ;
- une zone de climat sud-soudanien au sud : 6 mois de pluies, 1000 à 1300mm d'eau/an, température extrêmes : 12° et 38°C (<https://burkina-ntic.net>).

La présente étude a été conduite dans la région du Centre-Ouest du Burkina Faso située entre 11° et 13° de latitude Nord et entre 1°30' et 3° de longitude Ouest. La région couvre une superficie de 21 891 km², soit environ 8% du territoire national. Elle est limitée :

- au Sud par la république du Ghana et la région du Centre-Sud ;
- au Nord par la région du Nord ;
- à l'Est par les régions du Centre et du Plateau Central ;
- à l'Ouest et au Sud par les régions de la Boucle du Mouhoun et du Sud-Ouest ;
- au Nord-Est par la région du Plateau Central.

C'est une région frontalière qui s'ouvre sur la république du Ghana. Elle est formée par quatre provinces qui sont le Boulkiemdé, le Sanguié, la Sissili et le Ziro. La région compte 4 communes urbaines, 34 communes rurales, 38 départements et 572 villages. La population totale de la région selon les projections de L'INSD (2007) serait de 1 737 197 habitants dont 719 589 habitants dans la province du Boulkiemdé, 316 900 dans la Sissili, 421 391 dans le Sanguié et 279 317 habitants pour la province du Ziro en 2020.

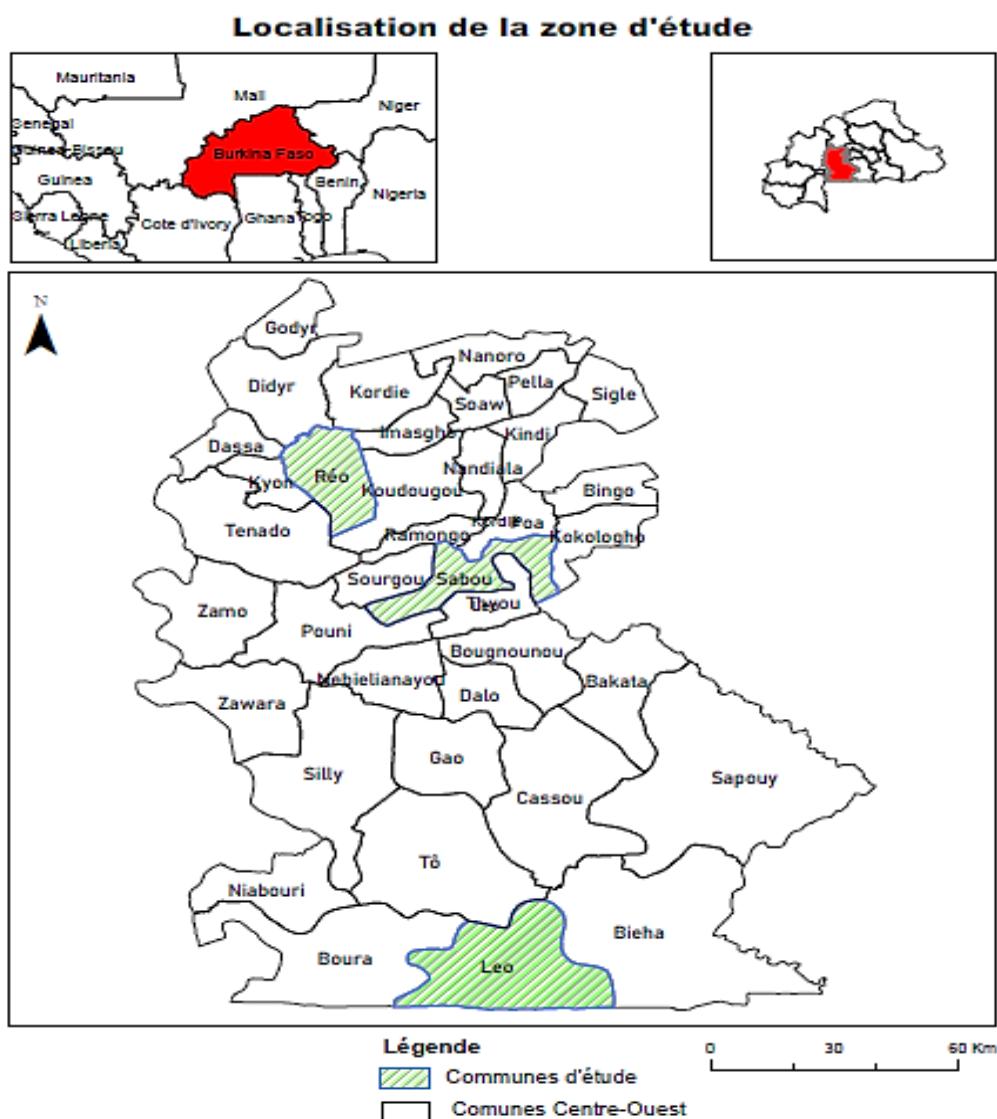
Le relief de la région du Centre-Ouest se caractérise par des altitudes variant entre 200 à 400m. Le relief est peu accidenté avec une prédominance de plaines et de plateaux.

La majeure partie des provinces du Boulkiemdé et du Sanguié est située dans la zone climatique Nord-soudanienne tandis que la plus grande partie des provinces de la Sissili et du Ziro fait partie de la zone Sud-soudanienne.

Les sols sont majoritairement de type ferrugineux tropicaux lessivés ou appauvris. Ce sont des sols profonds caractérisés par une texture sableuse en surface et argilo-sableuse à partir de 40 à 50 cm. Ils occupent 91,4% de la superficie totale de la région. Les sols de la région sont en général pauvres et subissent une dégradation accélérée.

L'agriculture est de type traditionnel, itinérant et extensif. Elle est dominée par les cultures céréalières (mil, sorgho, maïs, riz, fonio) et constitue surtout une activité de subsistance. Les activités agricoles portent également sur les cultures de rente (coton, arachide, sésame, soja), les cultures maraîchères (tomate, oignon, choux, carotte, aubergine, salade, etc.) et les autres cultures vivrières (niébé, voandzou, patate, igname). Il faut signaler que la production fruitière est également importante (mangue, papaye, citron, melon, pastèque) dans la région. La province du Boulkiemdé est spécialisée dans l'aviculture (élevage de poulets), les cultures maraîchères. Pour la province du Sanguié l'avantage comparatif porte sur les cultures maraîchères (chou, tomate, oignon, salade, haricot vert, aubergine, carotte, laitue, piment), l'aviculture (élevage de dindons), l'élevage de porcs, la production fruitière (papaye, mangue). La province de la Sissili est plus portée vers la production de tubercules (igname, patate, manioc) et l'arboriculture (anacarde, mangue). La province du Ziro excelle dans la production de tubercules (patate), l'arboriculture (anacarde) et la production de pastèques.

La présente étude a concerné trois des quatre provinces que compte la région : le Boulkiemdé, le Sanguié et la Sissili. Dans chacune des provinces, une commune a été ciblée (figure 2). Ce choix s'est principalement basé sur l'importance de la production du maïs et de celle des cultures maraîchères, la position agro-climatique et l'importance en termes de superficies des infestations par *S. frugiperda*. En effet, la Sissili est une province de grande production céréalière. Dans le Boulkiemdé et le Sanguié, ce sont surtout la production maraîchère (campagne sèche) mais aussi des céréales comme le sorgho, le maïs et le mil (campagne hivernale) qui y sont essentiellement produits. Selon les rapports de campagne de la DPVC, la Sissili a été, depuis les premières invasions du bio-agresseur, la province la plus touchée de la région. Le Boulkiemdé et le Sanguié occupaient respectivement la troisième et quatrième place.



Source des données: DIVA GIS
 Système de projection: WGS 84 UTM 30
 Système d'unité métrique
 Réalisation: KOANDA Nongamanégré, 17/07/2020

Figure 2 : Localisation de la zone d'étude

II. Matériel

2.1. Monitoring et enquêtes

Des pièges à phéromones de types White Delta Trap ont été utilisés pour le piègeage des mâles de *S. frugiperda*. Un GPS a été utilisé pour la prise des coordonnées et les prises de vue ont été effectuées à l'aide un appareil mobile de marque Techno Camon 11. Les captures des ennemis naturels ont été essentiellement réalisées à la main et conservés dans de flacons de 20ml contenant de l'alcool à 70%. Les larves d'aspects anormaux ont été conservées individuellement dans des tubes Ependrof.

Des questionnaires ont été utilisés pour la collecte des informations auprès des producteurs et des distributeurs de pesticides.

2.2. Les insecticides testés

Les insecticides testés au cours de cette étude ont été :

- BIOK 16 : une formulation commerciale de *Bacillus thuringiensis* var Kurstaki (16000 UI/mg), obtenue auprès des distributeurs agréés de la ville de Koudougou. C'est un insecticide biologique conseillé contre les chenilles de la culture vivrière, maraîchère et cotonnière.
- Botanigard 22WP : une formulation commerciale de *Beauveria bassiana* GHA obtenu à partir du Laboratoire d'Entomologie Fonctionnelle et Evolutive de Gembloux Agro-Bio-Tech. Avec une concentration en conidies viables est de $3,7 \cdot 10^{10}$ /kg (31,5%), il est conseillé pour un usage professionnel en agriculture biologique.
- Extrait aqueux des graines de neem : les graines de neem écrasées ont été obtenues auprès de la société Faso Biocarburant SARL basée à Léo dans la province de la Sissili.
- Goama : un insecticide botanique composé de feuilles de neem (*Azadirachta indica*) (45%), d'écalyptus (*Eucalyptus camaldulensis*) (45%) et d'*Ocimum americanum* (5%) préparé par le Groupement féminin KOMBINAAM de Gompomsom et obtenu auprès de Diobass.

III. Méthodologie

3.1. Monitoring

3.1.1. Piégeage

Des adultes de *S. frugiperda* ont été capturés en utilisant des pièges à phéromones de type White Delta Trap. Neuf (9) pièges au total ont été utilisés. Deux pièges ont été installés, l'un dans un champ de culture maraîchère pure à Goundi (Réo) et l'autre dans une parcelle où les cultures maraîchères étaient produites en association avec le maïs à Nabadogo (Sabou) au cours de la campagne sèche. Les autres ont été utilisés en début de campagne hivernale et installés dans des champs de maïs (Léo, Sabou, Réo), sorgho (Réo, et Léo) et de riz (Léo, Sabou) dans chacune des trois communes couvertes par l'étude. Chaque champ avait au minimum un hectare de surface pour les cultures de campagne hivernal et au moins 1000 m² pour la parcelle de cultures maraîchères. Les pièges étaient suspendus sur des supports conçus à cet effet à 1,5m du sol (Malo et al., 2004). La collecte des données a été réalisée hebdomadairement, les insectes récupérés, identifiés et conservés dans des flacons de 20 mL contenant de l'alcool 70%.

3.1.2. Evaluation de l'incidence de *Spodoptera frugiperda* en champ

Dans l'optique d'étudier l'incidence du bio-agresseur sur les cultures maraîchères et céréaliers dans la région, des prospections ont été réalisées dans la zone d'étude. Elles ont concerné, dans chacune des communes de la zone d'étude, dix (10) parcelles de cultures maraîchères (Sabou et Réo). Pour les cultures céréaliers, chaque champ devait avoir une superficie d'au moins 1 ha et la culture produite devait être une des cultures cibles du ravageur. Dans chaque village, quatre champs sont choisis suivant les quatre points cardinaux et un cinquième au milieu du village, soit un total de trente (30) champs. Dans chaque parcelle, la méthode de W de la FAO (figure 3) a été appliquée avec à chaque point d'observation dix (10) plants inspectés minutieusement (Parsanna et al., 2018). Les paramètres mesurés étaient :

- l'incidence du ravageur dans le champ en observant la présence de larves et/ou de symptômes récents de dégâts de larves sur les plantes. L'incidence était déterminée par la formule :

$$\% \text{ d'infestation} = \frac{\sum_{i=1}^5 x_i}{X} * 100$$

Avec x_i : le nombre de plantes infestées et X le nombre total d'observations : 50 plantes.

- le nombre de larves par plante ;
- le nombre de feuilles présentant des légions à chaque point d'observation ;
- la sévérité a été également estimée grâce à l'échelle de dommage foliaire modifiée de Davis et Williams (1992) pour les cultures céréaliers.

Des échanges ont eu lieu avec les agriculteurs sur l'historique des parcelles : date de semi, dernier traitement phytosanitaire, nombre de traitement réalisés et une image du ravageur (annexe 9) lui était présentée pour savoir s'ils en connaissaient.

Le choix des champs des cultures maraîchères a tenu compte de l'architecture des aménagements des parcelles dans les communes concernées. Ainsi, dans la commune de Sabou, les deux villages concernés avaient chacun un périmètre aménagé exploité par les habitants desdits villages. Sur chaque périmètre, cinq parcelles ont été choisies aléatoirement dont une à chacun des points cardinaux et une autre au centre de l'aménagement sans distinction des cultures exploitées. A Réo, les parcelles sont dispersées dans les deux villages ciblés par l'étude. Le choix des champs s'est alors fait de façon aléatoire dans chaque village. Chaque parcelle devait avoir une superficie d'au moins 400 m².

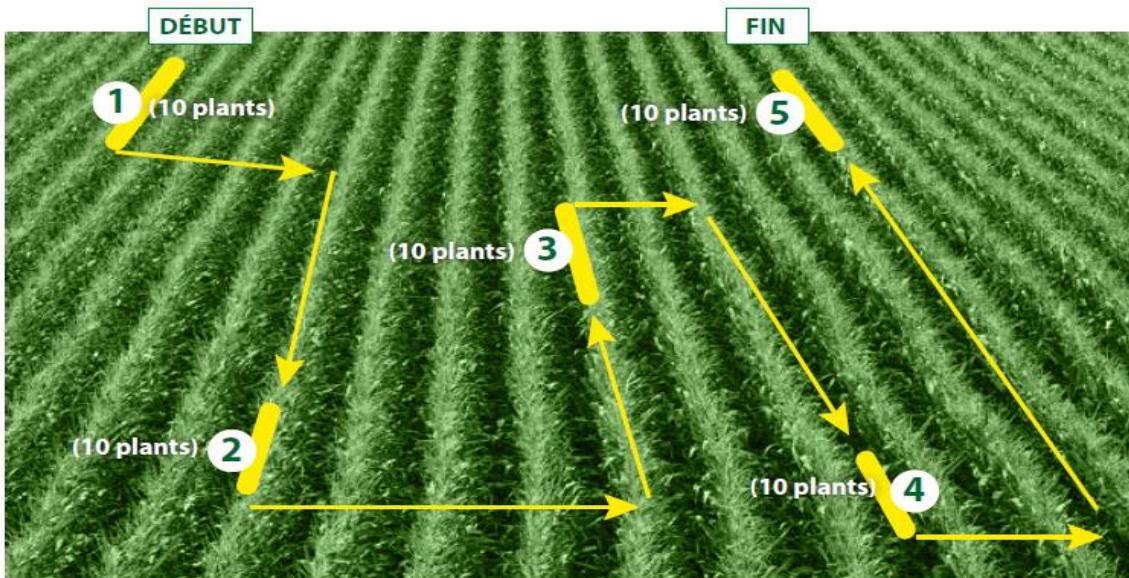


Figure 3 : Schémas de marche lors de la prospection

Source : FAO, 2018

Dans chaque parcelle, la même méthode que précédemment a été appliquée et les observations visaient principalement la recherche de larves de *S. frugiperda* et les mêmes informations ont été collectées auprès des agriculteurs.

3.2. Mode de gestion paysan de la chenille légionnaire au Centre-Ouest.

Depuis l'apparition du bio-agresseur dans la région, plusieurs méthodes ont été développées par les producteurs pour y faire face. Afin d'étudier les différentes méthodes de gestion du bio agresseur dans la région, une enquête y a été réalisée auprès des producteurs. Pour ce faire, un questionnaire a été élaboré (Annexe 10) et administré aux enquêtés des trois communes. Le questionnaire contenait des questions fermées, semi-fermées et ouvertes. Au total, 124 producteurs ont été enquêtés. Cet échantillon a été obtenu en appliquant la méthode décrite par Dagneli (1998). Elle consistait à réaliser une enquête préliminaire auprès d'un échantillon de producteurs choisi de façon aléatoire dans les six villages. Cette enquête, dans un contexte de pandémie de Covid-19, a été réalisée par appel téléphonique et les producteurs à enquêter ont été choisis sur la liste des enquêtes réalisées dans la cadre de la mise en œuvre du mécanisme de distribution électronique des intrants agricoles, obtenue auprès de la Chambre Régionale d'Agriculture (CRA) du Centre-Ouest. Les producteurs concernés devaient produire au moins une des céréales cibles de la légionnaire. Les 97% des enquêtés qui ont répondu à l'affirmative à la question « la chenille légionnaire constitue-t-elle une source de perte de récoltes pour votre exploitation ? » a servi à la détermination de l'échantillon de producteurs à enquêtés à partir de la formule suivante (Dagneli, 1998) :

$$N = \frac{\mu^2_{1-\alpha/2} Pi(1 - Pi)}{d^2}$$

Avec :

- N= nombre total de personnes à enquêtés (échantillon) ;
- $\mu^2_{1-\alpha/2} = 1,96$ représentant la valeur de la variable aléatoire normale pour un risque $\alpha=0,05$.
- d= marge d'erreur considérée dans l'enquête et comprise entre 1% et 15%. Nous avons pris ici d=0,03 ;
- Pi = la proportion des producteurs ayant affirmé que *S. frugiperda* constituait une source de perte de récoltes pour leurs exploitations.

Les 124 producteurs à enquêtés ont été répartis dans les différents villages en tenant compte de l'importance de la production du maïs et de la taille de la population de chaque village (INSD, 2006). La répartition des enquêtés est présenté dans le tableau 3 suivant.

L'entretien se faisait individuellement avec chaque producteur. Au cours de cette enquête, un inventaire des pesticides utilisés dans la lutte contre *S. frugiperda* a été réalisé. Dans l'optique de confirmer cela, mais aussi d'en connaître davantage sur les insecticides disponibles aux producteurs par les distributeurs de pesticides, un questionnaire (annexe 11) a été administré à des distributeurs de pesticides de la commune de Léo qui concentre la grande majorité des distributeurs de la région et de la commune de Koudougou où les producteurs de Sabou et de Réo s'approvisionnent. Au total 11 distributeurs agréés ont été enquêtés.

Tableau 3 : répartition des agriculteurs enquêtés par village

Commune	Village	Nombre de producteurs	Fréquence (%)
Sabou	Nabadogo	29	23,4
Sabou	Savili	30	24,2
Réo	Réo	10	8,1
Réo	Goundi	5	4,0
Léo	Wan	20	16,3
Léo	Sanga	30	24,2

3.3. Elevage de *Spodoptera frugiperda*

Les larves utilisées pour les différentes expérimentations ont été élevées à partir d'une souche de laboratoire obtenue au Laboratoire d'Entomologie Fondamentale et Appliquée (LEFA) de l'Université Joseph KI ZERBO de Ouagadougou. Pour la présente étude, nous avions débuté

l'élevage avec des œufs de *S. frugiperda* dans l'insectarium mis en place au sein de l'université par le projet ARES Mini-PDR. Après éclosion, les jeunes larves de stade L₁ ont été transférées dans des bocaux d'une capacité de 946 mL. Elles étaient exclusivement nourries avec des feuilles tendres de maïs produit en serre à cet effet. Afin de suivre l'évolution des larves, des éclosions de chaque jour, des larves ont été élevées dans une boîte de pétri. Des observations quotidiennes étaient réalisées sur l'évolution de ces larves. Les observations portaient principalement sur la recherche de la présence d'une capsule céphalique synonyme de mue et du passage d'un stade larvaire à un autre. Les boîtes étaient nettoyées après l'observation d'une capsule céphalique. Les larves utilisées pour les différents tests biologiques sont celles obtenues après l'apparition de la première capsule céphalique. Pour ce qui concerne les tests d'incidence sur les cultures maraîchères in vitro, les larves concernées étaient celles après l'apparition de la deuxième capsule céphalique. Au bout du troisième stade, les larves étaient réparties à raison de dix (10) larves par bocal pour réduire les pertes de population liée au cannibalisme. A partir du sixième stade, les larves sont transférées dans des bocaux contenant 500g de sable fin où elles se transforment en chrysalide. Ces dernières y sont maintenus jusqu'à l'émergence. Après émergence, les adultes sont placés dans des cases de vol de dimensions 30x30x30 cm. Ils sont nourris avec une solution de saccharose à 10%. Les adultes pondent sur la toile de moustiquaire et les œufs sont collectés chaque matin et conservés dans des flacons. Les éclosions ont lieu dans ces flacons avant le transfert des larves dans les bocaux d'élevage. La température et l'humidité relative de l'insectarium étaient 25±5°C et 70±10% avec une photopériode de 12h de lumière.

3.4. Test de consommation de cultures maraîchères

La production maraîchère constitue une activité très importante pour les producteurs des communes de Réo et de Sabou surtout au cours de la campagne sèche. De plus, une question se pose sur les plantes refuges du ravageur au cours de la longue campagne sèche. Cette étude a été réalisée afin d'évaluer le niveau de danger que pourrait constituer le bio agresseur pour ces spéculations maraîchères. Ces tests ont été effectués au LEFA de l'Université Joseph KI-ZERBO. Après des tests in vitro, des larves de second stade ont été utilisées pour infester des plantules de cultures maraîchères produites dans les pots à la serre du LEFA.

- Production des plantules

Quatre spéculations maraîchères ont été concernées par cette étude. Le choix de ces spéculations s'est principalement basé sur l'importance de la production de celle-ci au Centre-Ouest en termes de superficies emblavées et de production. Il s'agit de la variété Violet de

Galmi de l'oignon (*Allium cepa* L.), de la variété Mongal F1 de la tomate (*Solanum lycopersicum*), de la variété Super Globe F1 du chou (*Brassica oleracea*) et de la variété Bativia Blonde de Paris de laitue (*Lactuca sativa* L.). Le maïs a été ici utilisé comme témoin étant donné qu'il est la culture préférée du ravageur (Luginbill, 1928 et Bessin, 2003). Les plantules produites en pépinière au Centre de Promotion Rurale (CPR) de Goundi ont été repiquées au bout de quatre semaines dans des pots d'une capacité de 1,5 L contenant pour substrat la terre autour de la serre. L'arrosage était fait par aspersion et au besoin. Du NPK (23-10-5 + 2% de MgO + 3% S + 0,3% Zn) a été appliqué au dixième jour après repiquage.

- Test de consommation in vitro

Des feuilles de quatre spéculations ont constitué le matériel végétal. Pour chaque spééculation, les feuilles ont été pesées (P_i) et misent dans des boîtes de pétri contenant un papier buvard mouillé avec 2 ml d'eau distillée à raison de dix (10) répétitions par spééculation. Chaque boîte était infestée par une larve de stade L_3 . Au bout de 72 heures, le poids des restes de feuilles de chaque boîte a été pesé (P_f). Pour prendre en compte les pertes probables de poids liées aux conditions de la salle d'expérimentation, dix autres feuilles ont été pesées et conservées dans les mêmes conditions sans larves. Le pourcentage de poids perdu, pour chaque spééculation au bout de 72 heures a été déterminé et déduit du poids initial. La température de la salle d'expérimentation était maintenue à $25\pm 5^\circ\text{C}$, l'humidité relative à $70\pm 10\%$ et la photopériode à 12h/12h. Le poids consommé par les larves a été calculé suivant la formule suivante :

$$P_c = P_i - (P_f + P_p)$$

Avec :

- P_c : le poids consommé ;
- P_i : le poids initial ;
- P_f : le poids au bout de 72 heures ;
- P_p : le poids perdu qui est lié aux conditions de la salle d'expérimentation.

- Incidence de *S. frugiperda* sur les cultures maraîchères en serre

Les essais ont été effectués à la serre de la LEFA au cours du mois de mai. Les plantules utilisées étaient âgées de trois semaines après repiquage. Pour chaque spééculation, dix (10) plantules ont été utilisées. Chaque plantule a été infestée par cinq larves de stade L_2/L_3 . Les observations ont été faites avant l'infestation, au troisième jour, au septième et au dixième jour après l'infestation et les paramètres étudiés ont été :

- le nombre total de feuilles/folioles de chaque plantule ;
- le nombre de feuilles avec des légions ;

- le nombre de légions par plantule ;

3.5. Efficacité biologique des pesticides botaniques et de bio-pesticides sur les larves de *Spodoptera frugiperda*.

- **Production des plantules de maïs**

Des plantules de trois (03) semaines de la variété Wari de maïs ont été produites et utilisées pour les différents tests en serre. Le semis a été réalisé dans des pots de 1,5 l contenant comme substrat la terre autour de la serre. L’arrosage se faisait chaque jour à 7h et à 18h jusqu’à la levée. Après la levée, l’apport d’eau se faisait au besoin. Deux semaines après la levée, une application d’engrais NPK (23-10-5 + 2% de MgO + 3% S + 0,3% Zn) a été effectuée.

- **Bio-essais in vitro**

La méthode IRAC 020, version 3.2 mai 2011 approuvée pour des larves de *Helicoverpa zea*, *H. virescens*, *S. eridania*, *S. exigua*, *S. frugiperda*, *S. littoralis*, et de *S. litura*, a été utilisée pour les différents tests de sensibilité. Initialement, des diètes alimentaires devaient être utilisées pour les différents tests. Nous avons utilisé ici des feuilles de maïs tendres de 6cm environ de longueur comme aliment. Pour améliorer l’adhésion des molécules aux feuilles, le Triton a été utilisé comme agent mouillant. La méthode est décrite comme site :

- Une population de larves de stade L₂/L₃ obtenue à partir d’œufs d’une souche du laboratoire (LEFA) de *S. frugiperda* a été utilisée.
- Quatre doses de chaque produit ont été utilisées pour les différentes expérimentations.

Ces solutions avaient les concentrations suivantes :

- BioK 16 (*Bacillus turingiensis*) comme témoin positif à 2,5 - 5 - 7,5 et 10g/L ;
- BOTANIGARD 22 WP à 0,625 - 1,25 - 1,875 - 2,5g/L ;
- Goama[®] après une macération pendant 24 h à 50 -100 - 150 - 200g/L ;
- Les graines de neem : macérées pendant 24 heures à 67 - 133 - 200 – 267 g/L.

Un témoin négatif traité avec de l’eau et du triton a également été utilisé.

- Une fois les solutions préparées, des morceaux de jeunes feuilles tendres de maïs d'une longueur d'environ 6 cm ont été trempées dans chaque concentration pendant 30 secondes puis égouttées sur un papier stérile pendant 1 heure. Pour améliorer l'adhésion du produit aux feuilles, le Triton a été ajouté aux différentes préparations à raison d'une goutte pour 40ml de solution.
- Les feuilles ont ensuite été placées dans des boîtes de pétri contenant préalablement un papier-filtre légèrement humidifié couvrant le fond de chaque boîte afin de conserver l'humidité des feuilles.

- Une seule larve de fin de L₂ / début de L₃ a été ajoutée dans chaque boîte de pétri, à l'aide d'une pince souple. Une fois l'infestation terminée, les boîtes de pétri ont été scellées avec un couvercle étanche afin d'empêcher les larves de s'échapper.
- Les boîtes de pétri ont été rangées dans une salle de bio-essais avec une température de 25±5 ° C, une humidité relative de 70±10% et éclairée pendant 12 h par jour.
- la mortalité a été évaluée puis à la 72^{ème} heure après les infestations.
- Les résultats ont été exprimés sous forme de pourcentage de mortalité, en corrigeant la mortalité « non traitée » (témoin) à l'aide de la formule d'Abbott suivante :

$$\text{Pourcentage de mortalité corrigé} = 100 \times (1 - (nT / nCo))$$

Avec :

- nT = survivants dans les traitements ;
- nCo = survivants dans les témoins.

Les données de mortalité ont été utilisées pour effectuer une analyse de réponse aux réactions probit afin de fournir des estimations de CL₅₀ et de CL₉₀ pour chaque produit.

- **Test d'efficacité en serre**

Un dispositif en bloc complètement randomisé avec cinq (05) traitements et quatre (04) répétitions a été utilisé. Les traitements ont été :

- un témoin négatif (TNT) ;
- ½ de la dose recommandée de l'insecticide ;
- la dose recommandée de l'insecticide ;
- 2X la dose recommandée de l'insecticide.

Chaque pot a été infesté par cinq (05) larves 12 h avant l'application des traitements. Les plantules traitées ont été placées dans les cases de 1mx1mx0,5m. La quantité de bouillie utilisée était de 10ml, 12ml et 16 ml pour *Bacillus thuringiensis*, les extraits aqueux de graines de neem et les extraits aqueux de goama respectivement.

Les paramètres mesurés ont été :

- la mortalité des larves ;
- le taux de consommation du maïs à travers une mesure du nombre de feuilles présentant de légions par rapport au nombre de feuilles totale et le nombre de légions par répétition ;
- la sévérité des attaques sur la base de l'échelle de Davis et al., (Annexe 1)
- et la phytotoxicité en utilisant l'échelle de la commission des essais biologique de l'Union Européenne (Annexe 4).

Ces données ont été collectées avant l'application des traitements, au 3^{ème} jour, au 7^{ème} jour et au 10^{ème} jour après leur application.

IV. Recherche d'ennemis naturels et d'entomopathogènes potentiels

4.1. Parasitoïdes et prédateurs potentiels

Au cours de cette étude, les insectes potentiellement prédateurs de *S. fruperda* rencontrés sur le terrain ont été capturés et conservées dans des flacons contenant de l'alcool à 70%. Ils ont ensuite été identifiés au laboratoire à l'aide d'un binoculaire synchronisé avec un ordinateur grâce à l'application LAZ ET et la clef d'identification de Delvare & Aberlence (1989).

Pour ce qui concerne les parasitoïdes, des œufs ont été collectés dans des champs de maïs et suivi au laboratoire (Parsanna et al., 2018). Après l'éclosion des larves au bout de 2 à 3 jours, les œufs non éclos, probablement parasités, ont été conservés dans des flacons contenant du coton humidifié avec de l'eau distillée pour conserver l'humidité des feuilles portant les œufs et suivi chaque jour. Les œufs ont été conservés à une température de 25°±5°C et à une humidité relative de 70±10% avec une photopériode de 12/12 h jusqu'à l'éclosion. Les parasitoïdes des œufs qui ont émergé ont été identifiés et conservés dans de l'alcool 99,5%.

4.2. Les agents entomopathogènes

Des larves présentant des aspects anormaux (momification, suintement, etc.) ont été collectées et conservées dans des tubes Ependrof 1,5 ml. L'identification des parasites potentiels qui ont colonisés les larves devait se faire au laboratoire d'Entomologie Fonctionnelle et Evolutive de Gembloux Agro-Bio-Tech, mais la pandémie du Covid 19 a empêché notre déplacement en Belgique.

V. Analyses statistiques des données

Les résultats des enquêtes ont été analysés avec le logiciel SPHINX PLUS² version 5.0.0.82. Des statistiques descriptives ont été appliquées aux données quantitatives des enquêtes. Les données des tests d'efficacités des insecticides et des tests de consommation ont été saisis sur Microsoft Excel 2016 et analysées à l'aide du logiciel Rcmdr version 4.0.2 du 22 Juin 2020. Les données ont été soumises à un test de normalité de Shapiro et Wilk suivi d'un test d'homogénéité des variances de Bartlett. Une analyse ANOVA à un facteur au seuil de 5% a été appliquée aux données d'efficacité et de consommation des cultures maraîchères chaque fois que celles-ci suivaient la normalité de Shapiro et Wilk. La séparation des moyennes a été réalisée à l'aide d'un test HSD (Honestly Significant Difference) de Tukey au seuil de signification de 5%. Des graphes ont également été conçus sur Microsoft Excel 2016.

Chapitre III : Résultats et discussion

I. Résultats

1.1. Monitoring

1.1.1. Suivi de la population de *Spodoptera frugiperda* au Centre-Ouest

Les pièges dans les parcelles de cultures marichères au cours de la campagne sèche ont été posés en fin mars. Ils n'ont pas permis aucune capture d'adultes.

Le suivi des adultes n'a duré que deux semaines pendant la campagne hivernale à cause de l'installation tardive de la campagne. Six (06) adultes mâles de *S. frugiperda* ont été capturés principalement dans des champs de maïs et de sorgho. Les résultats détaillés des captures figurent à l'annexe 3.

1.1.2. Paramètres épidémiologiques étudiés

Le maïs, le sorgho et le chou (photo 7) ont été les cultures sur lesquelles nous avons rencontré *S. frugiperda* dans les zones couvertes par la présente étude. Le sorgho était principalement attaqué dans les communes de Réo et de Léo au moment de nos prospections (annexe 6). Le chou attaqué a été retrouvé dans une parcelle où il est produit en association/assolement avec le maïs, la tomate et l'aubergine pendant la campagne hivernale. L'incidence du ravageur, la sévérité de ses attaques ainsi que le nombre moyen de laves par plantes en fonction de la culture et de la zone agro-climatique sont présentés à la figure 4 suivante.

L'incidence du bio-agresseur est plus importante sur le maïs comparativement au sorgho et au chou. Elle l'est aussi bien en campagne humide qu'en campagne sèche. On peut en effet noter 71,35% d'infestation sur le maïs dans la zone sud-soudanienne et seulement 26,93% comme taux d'infestation dans la zone Nord-Soudanienne. La même tendance est observée avec la sévérité estimée autour de 7 sur le maïs dans la zone Sud-soudanienne. Par contre, l'incidence est plus forte en campagne sèche qu'en campagne hivernale. L'incidence et la sévérité sont relativement faibles sur le sorgho comparativement au maïs (figure 4c).

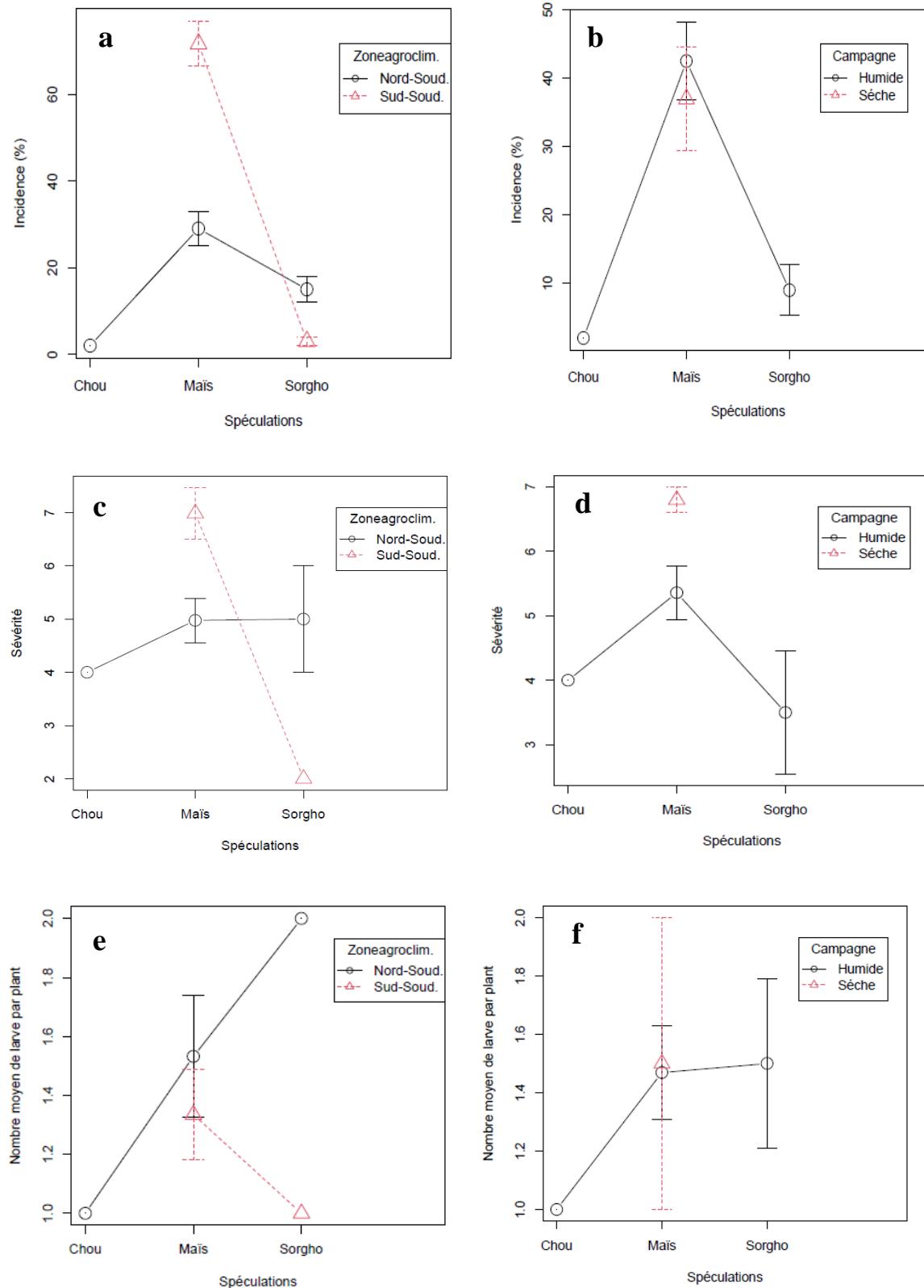


Figure 4 : relation entre les paramètres épidémiologiques illustrés de *Spodoptera frugiperda* et la saison de production ainsi que la zone agro climatique.

On dénombre plus de larves par plante dans la zone Nord-Soudanienne que dans la zone Sud-soudanienne. Ce paramètre a très peu varié pour le maïs en fonction de la saison (figure 6e et f).



Photo 7 : Plantes attaquées par *Spodoptera frugiperda*

a : Maïs ; b : Sorgho ; c : Chou

Cliché : KOUANDA et TIGATI 2020

1.2. Incidence de *Spodoptera frugiperda* sur les cultures maraîchères

1.2.1. Test de consommation in vitro

Les feuilles de maïs ont été les plus consommées par les larves avec 58,94 % de son poids initial consommé au bout de 72 heures (Figure 5). Aucune différence significative n'a été observée entre le poids consommé au bout de 72 h du maïs et celui du chou (363,1 mg) au seuil de 5%. L'oignon et la tomate ont été moins consommées par les larves avec respectivement 185,8 mg et 118,4 mg de leur poids consommé par les larves pendant les 72h qu'a duré l'expérimentation. Pour la laitue, 33,3% du poids a été consommé au cours de l'expérimentation.

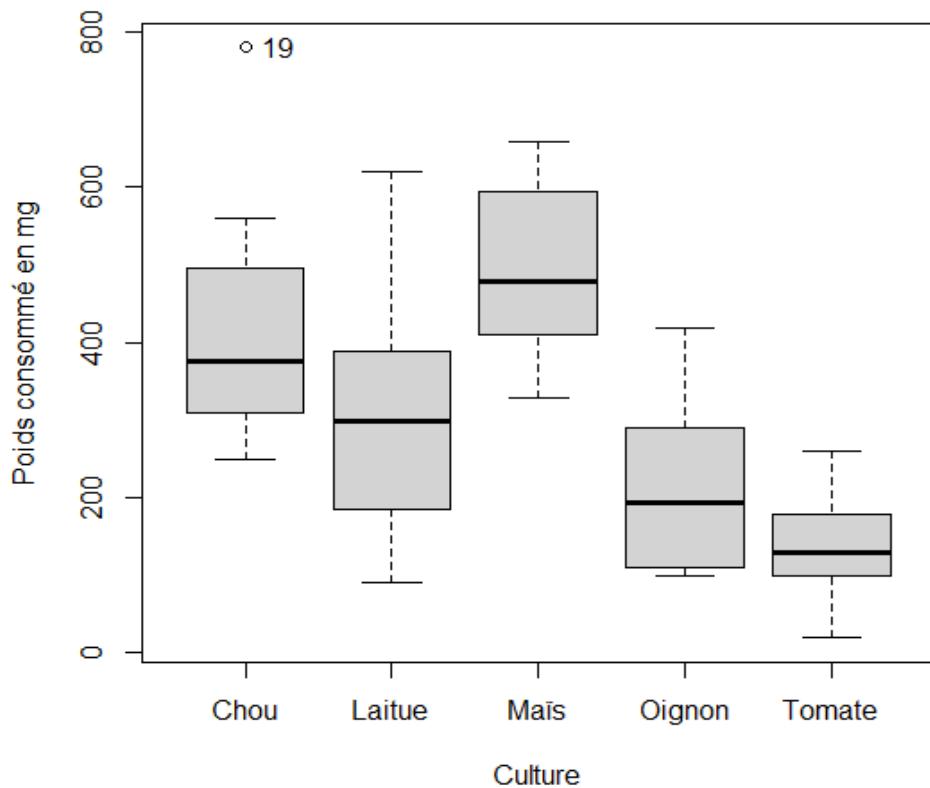


Figure 5 : Poids des feuilles consommées après 72 h par les larves de *Spodoptera frugiperda*

1.2.2. Test de consommation des plantules en serre

Le nombre de feuilles des plantules de chaque spéculation a été compté avant l’infestation et aucune légion n’a été observée sur les feuilles (figure 6). Au bout du troisième jour, environ 75% des feuilles du maïs et du chou présentaient des légions (photo 8). Au septième et au dixième jour après l’infestation, on n’avait plus de feuilles de maïs, et le nombre de légions du chou a également chuté avant d’augmenter légèrement au 10^{ème} jour.



Photo 8 : Plantules 72 heures après l’infestation

a : Maïs, b : Chou ; c : Oignon

Cliché : KOUANDA 2020

La proportion des feuilles présentant des lésions sur l'oignon n'a connu que de légères augmentations de 27% et de 18% du troisième au dixième jour. La laitue a été moins consommée par les larves et la proportion des feuilles avec des lésions est restée relativement statique au cours de l'expérimentation (figure 6).

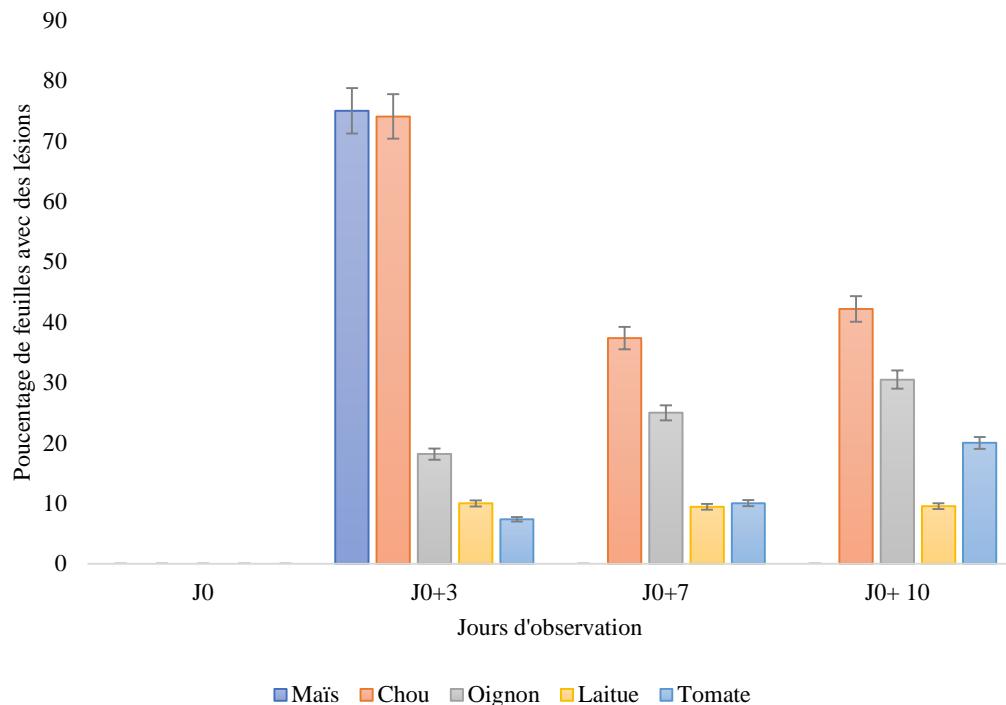


Figure 6 : Pourcentage de feuilles présentant des dégâts de larves de *Spodoptera frugiperda* aux différentes dates d'observation

J0= jour avant l'infestation ; Barre d'erreur au seuil de 5%.

Les dégâts observés sur les feuilles sont principalement des plages vitrées suite à la consommation des jeunes larves. Au fur et mesure que les larves grandissent, les dégâts deviennent plus importants et sont caractérisés par des trous plus ou moins larges en fonction des cultures. Les tiges de la tomate n'ont pas été épargnées (Photo 9). Les larves entrent à travers des trous qu'elles perforent sur les feuilles de l'oignon et consomment la couche interne des feuilles les fragilisant ainsi.



Photo 9 : Plantules de tomate ravagées

Cliché : KOUANDA 2020

1.3. Mode de gestion paysan de *Spodoptera frugiperda*

1.3.1. Caractéristiques des exploitations agricoles

Les répondants au questionnaire étaient majoritairement des hommes (66%) avec cependant 60% de femmes pour la commune de Sabou (tableau 4). La majorité (66%) était non scolarisée. L'âge moyen des répondants était de 47 ans. Le nombre d'actifs de chaque ménage avoisinait six (06) personnes exploitant une superficie moyenne de 5,56 ha. Dans la commune de Léo, la superficie moyenne par exploitation est de 8,4 ha. Le maïs et le sorgho constituent les spéculations céréalières les plus produites par les exploitations enquêtées avec une superficie moyenne du maïs de 1,87 ha par exploitation. La production des légumes est prépondérante dans les communes de Sabou et de Réo avec principalement l'oignon, la tomate et le chou comme spéculations les plus citées par les enquêtés. La majeure partie des enquêtés (83%) dispose d'au moins un pulvérisateur à pression entretenue, 75% d'entre eux d'une charrue et seulement deux producteurs de Léo disposent de tracteurs. La fertilisation minérale est utilisée par l'ensemble des exploitants enquêtés, mais la fumure organique est utilisée par 85,5% des enquêtés avec le plus faible taux d'utilisation à Sabou.

Tableau 4 : Caractéristiques des exploitations

Variables	Communes			
	Sabou <i>N=59</i>	Léo <i>N=50</i>	Réo <i>N=15</i>	Moyenne <i>N=124</i>
Genre (%)				
Masculin	41,1	86	86,7	66,1
Féminin	55,9	14	13,3	33,9
Age (moyenne)	50,4±12,4	44,1±9,3	45,6±13,8	47,3±11,8
Membre du ménage (moyen)	10,6	9,1	15,6	10,7
Nombre d'actifs (moyen)	5,3	5,1	8,8	5,7
Niveau d'étude (%)				
Non scolarisé	74,6	62,5	40,0	65,6
Alphabétisé	20,3	2,9	13,3	20,5
Primaire	1,7	8,3	33,3	8,2
Secondaire	3,4	6,3	6,7	4,9
Supérieur	-	-	6,7	0,8
Superficie moyenne des exploitations	3,2	8,4	5,1	5,7
Spéculations produites (%)				
Maïs	100	95	100	98
Sorgho	95	80	80	87
Riz	24	25	20	24
Mil	46	16	53	35
Coton	2	16	0	7
Oignon	80	0	73	47
Tomate	25		53	19
Chou	15	0	33	11
Poivron	5	0	13	4
Laitue	3	0	7	2
Superficie moyenne du maïs	1,1	2,8	2,0	1,9
Fertilisation (%)				
NPK	98	100	100	99
Urée	68	98	87	82
Fumure organique	78	94	87	86
Equipement (%)				
Charreue	61	98	53	75
Tracteur	0	4	0	2
Pulvérisateur a pression entretenue	76	92	80	83
Pulvérisateur centrifuge	0	4	0	2
Daba et autres	100	100	100	100

N : population totale

1.3.2. Connaissance de *Spodoptera frugiperda* par les enquêtés et cultures hôtes

Le maïs est cité par 96% des producteurs comme étant la culture la plus attaquée par *S. frugiperda*. En plus, le sorgho, le riz, la tomate, le poivron, le chou, le mil et l'oignon ont également été cités comme cultures cibles du bio-agresseur (figure 8). Le ravageur sévit dans la zone depuis 3 ans selon 83,6% des enquêtés. Il est connu par 99,2% des producteurs de la zone d'étude (figure 7). En plus des images de larves et de dégâts de *S. frugiperda*, les enquêtés décrivaient les symptômes de la présence de larves dans leurs champs, leur comportement et affirmaient savoir que l'adulte était un papillon. Ils n'arrivaient cependant pas à décrire le papillon en question.

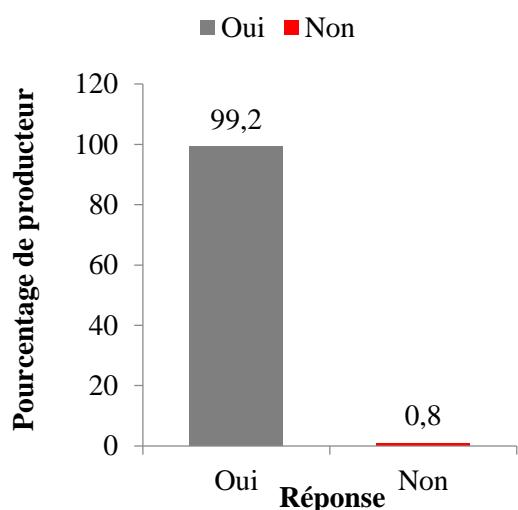


Figure 7 : Connaissance de *Spodoptera frugiperda* par les agriculteurs

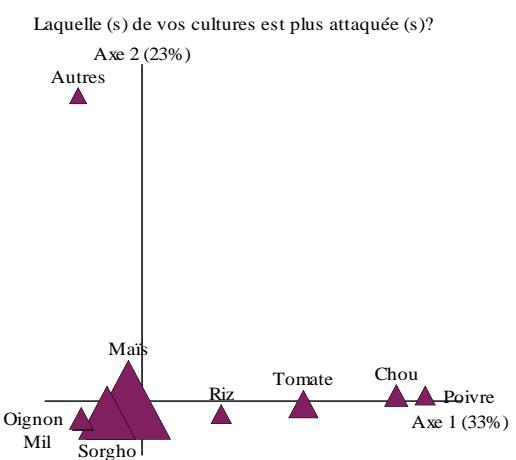


Figure 8 : Les cultures les plus attaquées par *Spodoptera frugiperda*

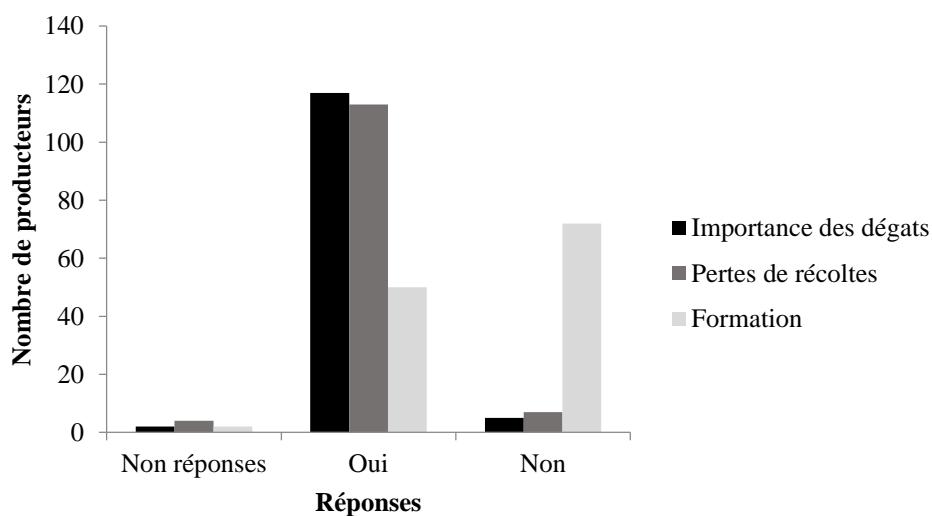


Figure 9 : Perception de l'importance des dégâts, des pertes de récoltes et formation des agriculteurs

Parmi les répondants, 91% affirment avoir perdu des récoltes suite aux attaques de *S. frugiperda* dont les dégâts sont jugés importants par 94%. Parmi eux, 58% disent n'avoir pas encore reçu de formations spécifiques sur le bio-agresseur (figure 9).

1.3.3. Mode de gestion de *Spodoptera frugiperda*

Nonante cinq pourcents des producteurs utilisent des insecticides chimiques de synthèse pour lutter contre le ravageur (figure 10). Au total, 18 formulations d'insecticides chimiques ont été cités par les enquêtés. Quinze d'entre elles sont des concentrées émulsionnables. Plus de 53% sont destinés à un usage contre les insectes ravageurs du cotonnier, le reste majoritairement conseillé contre les insectes nuisibles des cultures maraîchères et fruitières (annexe 7). Les molécules les plus fréquemment citées comme efficaces sur le ravageur sont l'émamectine benzoate, et l'acétamipride parfois en association avec la lambda-cyhalothrine. Elles appartiennent respectivement aux familles chimiques des Avermectines, des Néonicotinoïdes et des Pyréthrinoïdes. Des molécules des familles des Organophosphorés et des Dithiocarbamates sont également citées par les enquêtés. Il faut noter qu'environ 40% de ces formulations ne disposent pas d'une homologation du Comité Sahélien des Pesticides (CSP), la cheville de la réglementation commune chargée de prendre des décisions en matière de circulation des pesticides en vue d'une utilisation judicieuse dans les pays membres du CILSS.

La classe toxicologique dominante est la classe II.

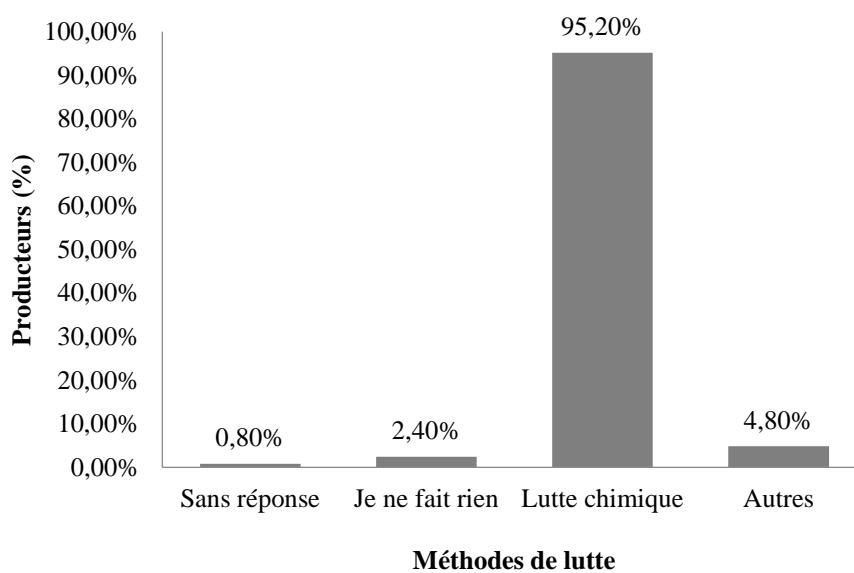


Figure 10 : Moyens de lutte utilisés contre *Spodoptera frugiperda* par les producteurs

Les bouillies sont directement préparées dans les pulvérisateurs en la remplissant à moitié puis en y ajoutant une certaine quantité d'insecticide mesurée à partir de récipients gradués qui accompagnent l'emballage pour la plupart des cas. A Sabou en particulier où la formulation

WG de l'émamectine benzoate est la plus utilisée, certains producteurs préparent une « solution mère » dans un récipient de 0,5 litre, qu'ils diluent par la suite dans le pulvérisateur avant l'application. Les doses utilisées vont de 0,5 L/ha à 1,5L/ha pour les formulations liquides.

Parmi les exploitations enquêtées, 92,74% s'approvisionnent en insecticides auprès des vendeurs de pesticides de leur localité et 15,32% ont bénéficiés du soutien de l'Etat au cours de la campagne écoulée. Les applications se font majoritairement après observations de symptômes de la présence des larves dans les champs à raison de une à deux fois par semaine. Les insecticides sont jugés efficaces par 76,47% des enquêtés et peu efficaces par 20,16% (tableau 5).

Tableau 5 : Caractérisation de l'utilisation des pesticides contre *Spodoptera frugiperda*

Variables	<u>Communes</u>			Total <i>N=124</i>
	Sabou <i>N=59</i>	Léo <i>N=50</i>	Réo <i>N=15</i>	
Mode d'approvisionnement				
Achat sur la place du marché	53	50	12	115
Soutien de l'Etat	13	3	3	19
Molécules les plus efficaces				
Emamectine benzoate	39	30	9	78
Cyperméthrine	-	5	-	5
Lambda cyalothrine	-	-	1	1
Période d'application				
Dès la levée	19	19	5	43
Quand il y a présence de dégâts	40	31	10	81
Fréquence des applications				
Deux fois par semaine	10	10	2	22
Une fois par semaine	33	20	5	58
Une fois toutes les deux semaines	9	15	6	30
Une fois par mois	3	4	-	7
Une fois par campagne	2	-	-	2
Efficacité des insecticides				
Très efficace	41	43	7	91
Moyennement efficace	13	6	5	24
Peu efficace	3	-	1	4

N : population totale

1.3.4. Connaissance des auxiliaires et des dangers liés aux pesticides

Environ 80% des enquêtés ne savent rien des auxiliaires (parasitoïdes, prédateurs ou encore entomopathogènes). L'araignée, les coccinelles, les perce-oreilles, les oiseaux ont été cités par certains des 20% qui affirment en connaître. Par contre, 76% affirment être conscient des dangers que représentent les pesticides chimiques s'ils ne sont pas utilisés suivant les règles de l'art. La grande majorité (94%) des enquêtés disent vouloir tenter d'autres méthodes que la lutte chimique de contrôle de *S. frugiperda* comme présenté dans la figure 11 ci-dessous.

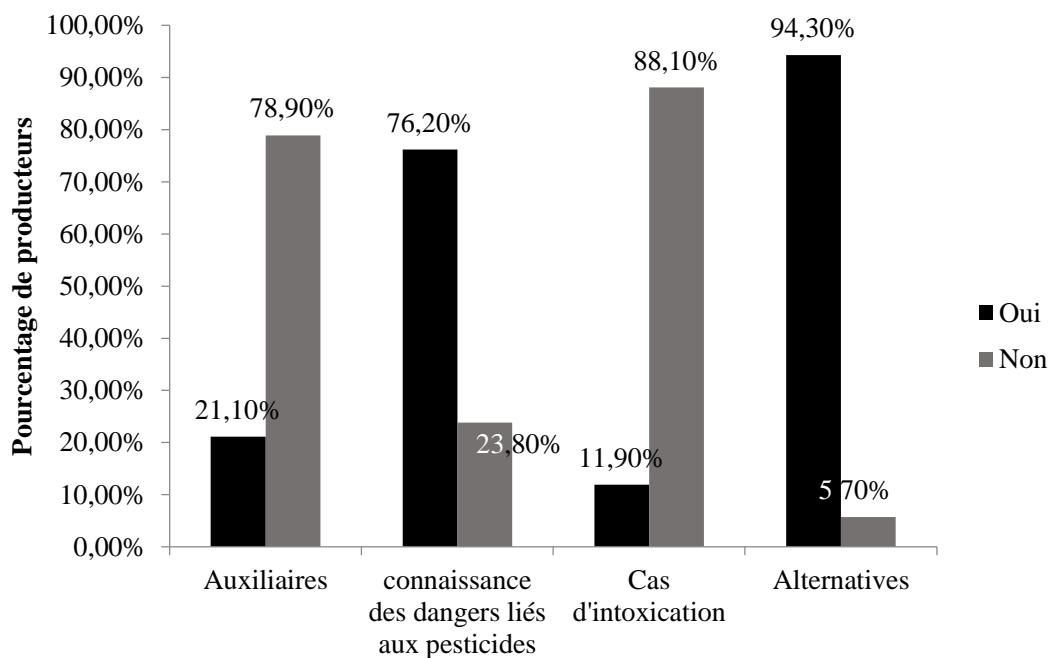


Figure 11 : Connaissance des auxiliaires, des dangers liés aux pesticides et l'ouverture aux alternatives à la lutte chimique

1.3.5. Autres méthodes de lutte

D'autres méthodes utilisées dans la lutte contre *S. frugiperda* ont été citées par 4,8% des exploitants de la zone d'étude dont :

- la technique d'écrasement des larves qui consiste à pincer les feuilles verticillées des plantules présentant des symptômes de la présence de larve depuis l'extérieur jusqu'à ce qu'ils entendent un son correspondant à l'éclatement de la larve. Généralement, cette opération est conduite par les enfants guidés par le chef d'exploitation ;
- l'application de cendre et de sable fin dans les verticilles des cultures attaquées. Certains expliquent cette méthode par le fait que la larve à l'intérieur ne pourra plus sortir et mourra par asphyxie ou en voulant sortir pourrait être blessée par les grains de sable ;
- des extraits aqueux de feuilles et de graines de neem principalement cités par des producteurs de Léo et de Sabou et consistant à pilier les feuilles ou les graines et à les macérer pendant une durée de 24 heures à une semaine. Le filtrat est alors appliqué sur les plantules infestées.

1.4.Les insecticides commercialisés dans le zone d'étude

Sur treize distributeurs comme cibles initiales de cette étude, onze ont pu être enquêtés. Ils étaient tous des hommes et tous affirment connaître *S. frugiperda* (figure 14). La durée moyenne de l'exercice de la fonction de distributeur de pesticides est de 6 ans avec un maximum de 20 et un minimum de 3 ans (figure 13). Parmi les enquêtés, 45% ont atteint le niveau secondaire et 35% sont non scolarisés (figure 12). Sept distributeurs connaissent les bio-pesticides et seulement trois en commercialisent.

Les distributeurs vendent tous des insecticides en plus d'autres pesticides dont principalement des herbicides et des fongicides. Vingt-trois formulations différentes d'insecticides chimiques de synthèse, dont la liste est jointe à l'annexe 8, ont été inventoriées auprès de ces distributeurs. Les principales molécules des insecticides commercialisés sont : l'émamectine benzoate, le méthomyl, l'acétamipride, la lambda-cyhalothrine, l'abamectine, la deltamétrine, la cyperméthrine, l'indoxacarbe, le chlorpyrifos-ethyl, le flubendiamide et le thiacyclopride. Des formulations commerciales de *Bacillus thuringiensis* sont également commercialisées dans la zone d'étude. Des extraits d'associations de plantes (PIOL), l'huile de neem et des graines de neem écrasées sont également vendues par les distributeurs (photo 10). Par ailleurs, il existe dans la commune de Léo une unité de production (Faso biocarburant) d'huile de neem et d'autres huiles essentiels. Elle prépare également des graines de neem écrasées en conditionnement de 1 kg qui sont commercialisées.



Photo 10 : Pesticides commercialisés par les distributeurs de la zone d'étude

Cliché : KOUANDA 2020

Parmi les insecticides chimiques de synthèse, 26% sont homologués contre les insectes ravageurs du cotonnier. Les insecticides ne disposant pas d'homologation compte pour 30% de l'ensemble des insecticides de synthèse.

Parmi les bio-insecticides et les insecticides botaniques seul *Bacillus thuringiensis* dispose d'une homologation contre « des chenilles ».

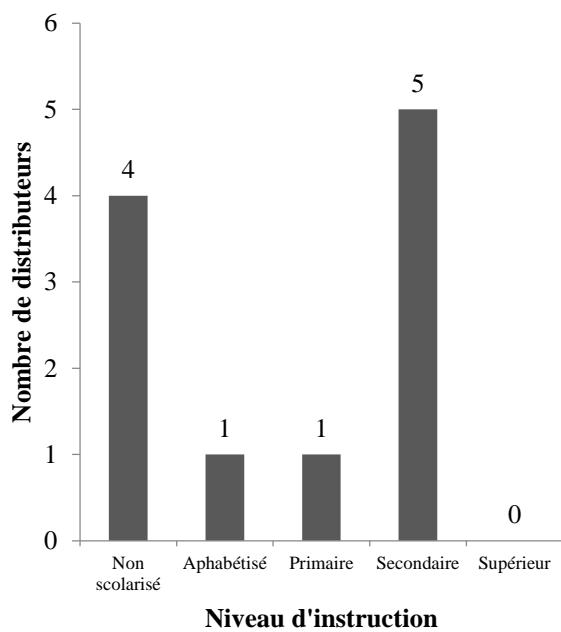


Figure 12 : Répartition des distributeurs en fonction de leur niveau d'instruction

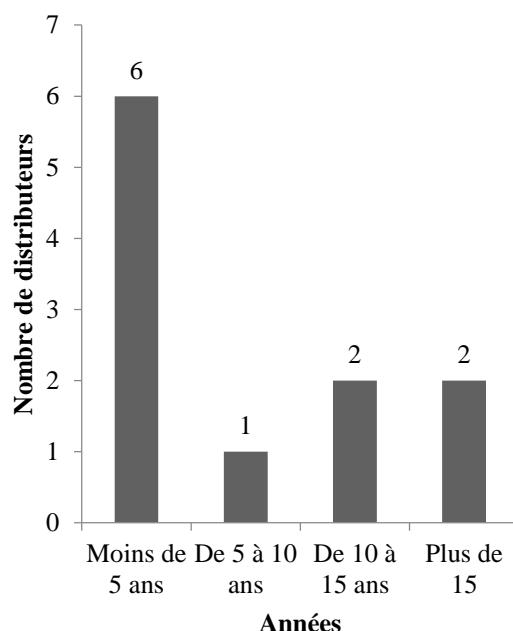


Figure 13 : Nombre d'années d'exercice dans la fonction de distributeur

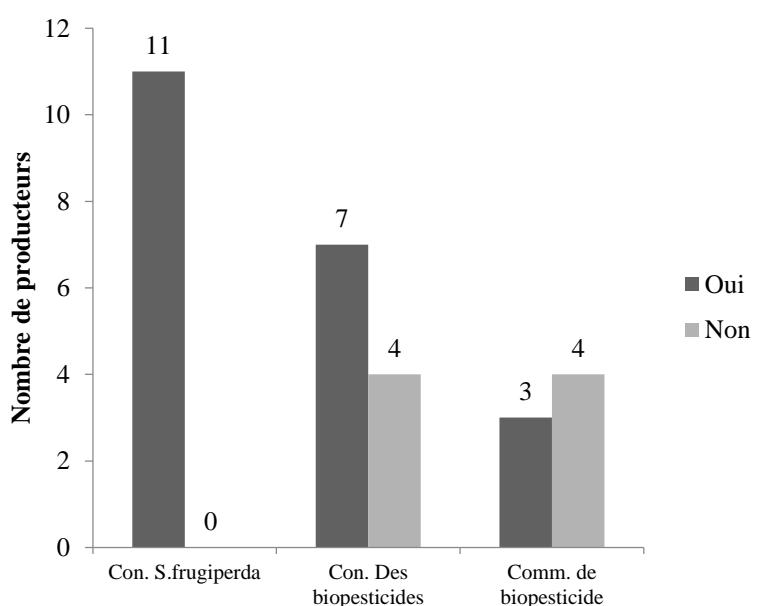


Figure 14 : Connaissance de *Spodoptera frugiperda* et des biopesticides par les distributeurs

1.5. Recherche de méthodes alternatives de lutte

1.5.1. Efficacité biologique de bio-insecticides

1.5.1.1.Bio-essais in vitro

Un extrait aqueux de graines d'*Azadirachta indica* peut contrôler 50% des larves de stade L₂/L₃ de *S. frugiperda* s'il est préparé à 170 g/l (tableau 6). Pour tuer 90% des larves, il faut augmenter la quantité à 438g par litre d'eau. Les survivants au bout de 72 h ne semblent plus croître et une mue incomplète peut être observée chez ces derniers (photo 11). Un extrait aqueux d'une association des feuilles d'*Azadirachta indica*, *d'Ecalyptus camaldulensis* et *d'Ocimum americanum* est efficace sur 50% et 90% des larves de stades L₂/L₃ de *S. frugiperda* à des concentrations de 348 g/l et 778 g/l respectivement.



Photo 11 : Aspects des larves 72h après traitement à l'extrait aqueux de graines de neem
Cliché : KOUANDA 2020

La souche commerciale de *Bacillus thuringiensis* var. Kurstaki à 16000UI/mg contrôle 50% et 90% des larves de stades L₂/L₃ lorsqu'elle est préparée à 8,7 g/l et 22,1 g/l respectivement. Avec la formulation commerciale de *B. bassiana*, nous n'avons pas obtenue une mortalité au bout des 72 heures.

Tableau 6 : Réponse dose-mortalité de *Spodoptera frugiperda* aux insecticides testés

Insecticides	N ^x	CL ₅₀ (g/L) ^y	Limite de confiance (95%) ^z	CL ₉₀ (g/L) ^Y	Limite de confiance (95%) ^z	Pente±SE ^g	X ²	ddl
<i>Bacillus thuringiensis</i> var Kurstaki	160	8,7	6,5-18,3	22,1	14,9-66,3	0,096±0,036	0,381	2
Extrait aqueux de graine d' <i>Azadirachta indica</i>	160	170,0	120,9-222,3	438,8	334,7-801,9	0,05±0,01	0,862	2
Extrait aqueux de feuilles : <i>Azadirachta indica</i> + <i>Eucalyptus camaldulensis</i> + <i>Ocimum americanum</i>	160	347,8		777,9		0,03±0,01	0,570	2

^x Nombre de larves. ^y concentration létale 50. ^z Limite de l'intervalle de confiance. ^Y Concentration létale 90. ^g Pente. **X²**: niveau de signification Khi deux. ddl : degré de liberté

1.5.1.2. Tests d'efficacité biologique des insecticides en serre

1.5.1.2.1. Mortalité larvaire

La mortalité des larves au bout de 72 heures est présenté suite aux différents traitements insecticides sur des plantules infestées chacune par cinq (05) larves de stade L₂/L₃. La formulation commerciale de *B. thuringiensis* utilisée à 10g/l a permis de contrôler 80% des larves au bout de 72h.

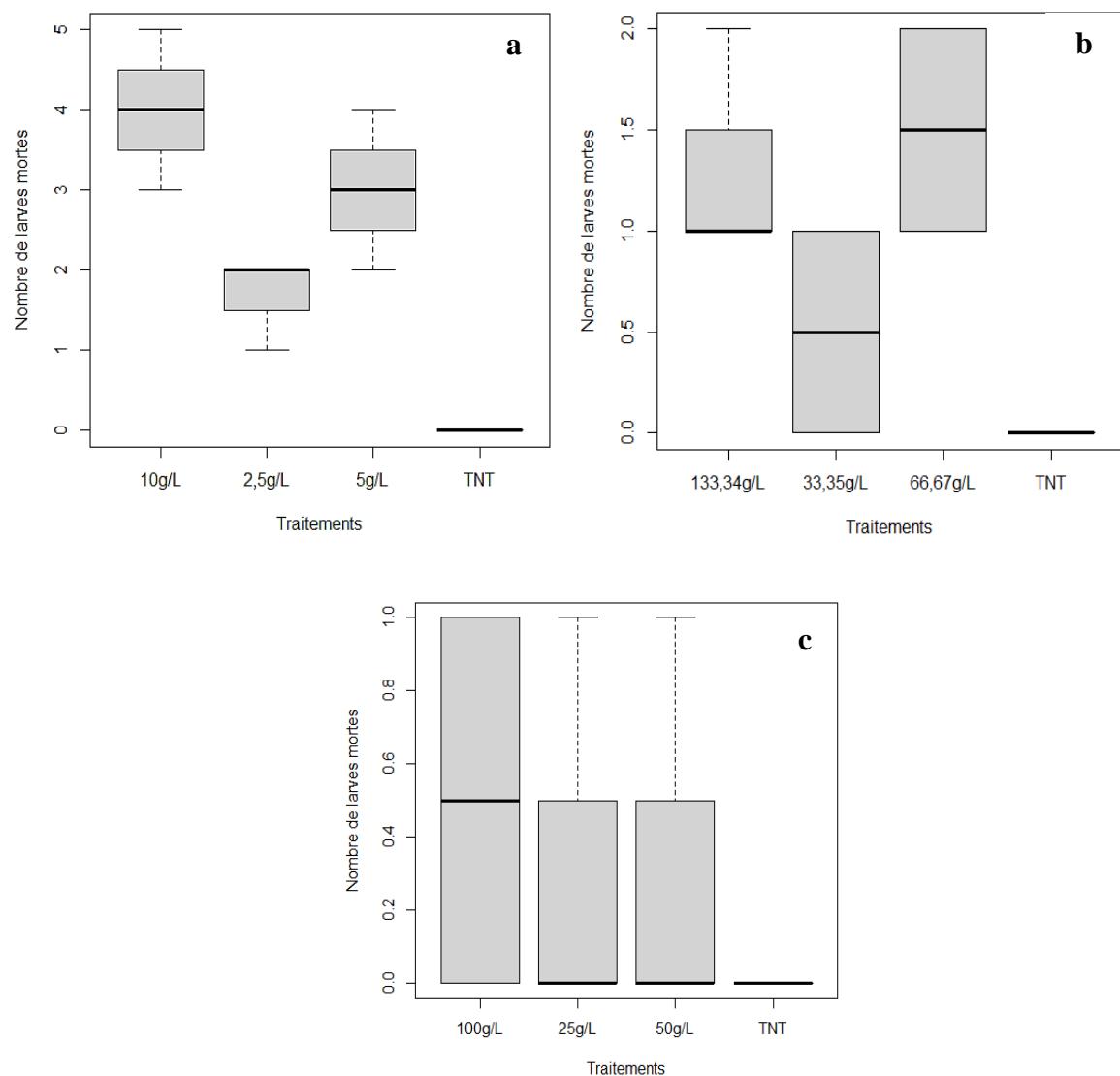


Figure 15 : Mortalité larvaire de *Spodoptera frugiperda* en serre

a : *B. thuringiensis*; b : Extrait aqueux de graines d'*A. indica* ; c : extrait aqueux d'association de feuilles d'*A. indica*, *d'E. camaldulensis* et *d'O. americanum*.

Les extraits aqueux d'association de feuilles d'*A. indica*, *d'E. camaldulensis* et *d'O. americanum*, utilisés à 100 g/l (dose 3) n'a permis que le control d'environ 11% des larves. Les deux autres doses (50 et 75g/L) ne diffèrent pas statistiquement du témoin non traité au seuil de 5%.

Les extraits aqueux des graines d'*A. indica* utilisés à 100g/l a provoqué la mort de 30% des larves au bout de 72 h. Avec une concentration de 67g/l de ces extraits, une mortalité de 10% a été obtenue.

1.5.1.2.2. Incidence des insecticides sur la consommation des feuilles de maïs

Avant l'application des traitements, le nombre moyen de feuilles pour tous les traitements ne montrait aucune différence significative au seuil de 5%. On pouvait noter en moyenne une douzaine de feuilles par plantule.

➤ *Bacillus thuringiensis* var *Kurstaki* (16000UL/mg)

Le nombre moyen de feuilles des plantules traitées avec les doses D₂, D₃ de *B. thuringiensis* ne montrait pas de différence significative au seuil de 5% trois (3) jours après l'application des traitements. Les trois doses se distinguaient nettement du témoin négatif qui n'a enregistré que 10 feuilles en moyenne soit une baisse de 23% par rapport au nombre initial de feuilles (tableau 7). Une légère augmentation du nombre de feuilles a été constatée avec toutes les doses de *B. thuringiensis*. Au cours de cette observation, on notait que les feuilles de tous les traitements ont été touchées par les larves en témoigne l'absence de différence significative entre les différents traitements point de vue nombre de feuilles présentant des lésions et nombre moyen de légions par traitement. Par contre, une sévérité notoire de neuf (9) est à noter avec le témoin négatif. Elle est modérée pour toutes les doses de *B. thuringiensis*.

Une semaine après l'application des traitements, on constatait toujours une augmentation du nombre moyen de feuilles pour les traitements au *B. thuringiensis* avec des différences statistiquement significatives à noter entre les traitements. Le témoin négatif se distingue nettement des trois doses de *B. thuringiensis* avec un niveau de sévérité estimé à 9 et une baisse de 53% par rapport au nombre de feuille initiale (J0) et de 39% par rapport au nombre de feuilles du troisième jour. Les différentes doses D₁, D₂ et D₃ de *B. thuringiensis* ont montré une différence de 156, 192 et 161% d'avec le témoin négatif respectivement. Le nombre moyen de lésions par traitement a également augmenté avec le plus grand nombre observé avec la plus faible dose qui ainsi, se distinguait statistiquement des autres doses. Ce paramètre a drastiquement baissé au niveau du témoin non traité avec seulement trois (3) lésions par traitement. Le pourcentage de feuilles avec des légions n'a pas montré de différence significative au cours de ces observations entre les différentes doses. Par contre, ces dernières se distinguaient nettement du témoin non traité qui a enregistré 46,6% de feuilles avec des lésions.

Au dixième jour, le nombre de feuilles et le pourcentage de feuilles présentant des lésions ne différaient pas significativement selon les analyses statistiques. Une légère baisse de 1,3% et 9,1% a été observée respectivement avec les doses 1 et 2 de l'insecticide point de vue pourcentage de feuilles présentant des lésions. Le nombre moyen de lésions est resté quasi statique qu'au septième jour. Une légère augmentation du nombre moyen de feuilles de 4% est observée avec le témoin non traité. La sévérité du témoin est toujours évaluée à 9, mais elle est faible pour les différentes doses de *B. thuringiensis* (photo 12).

Les observations visuelles ont permis de voir une phytotoxicité moyenne à sévère avec les dose 2 et 3.



Photo 12 : Sévérité des attaques sur les feuilles traitées avec *Bacillus thuringiensis* au 10^{ème} jour.

a : T_1D_1 ; b = T_1D_2 et c : T_1D_3

Cliché : KOUANDA 2020

➤ Extrait aqueux de graines d'*Azadirachta indica*

A la soixante-douzième heure après l'application des extraits aqueux des graines d'*A. indica*, on pouvait noter une baisse de nombre de feuilles du témoin non traité (tableau 8). Une légère augmentation du nombre moyen de feuilles par traitement est constatée pour les doses 2 et 3 du produit avec respectivement 2% et 12%. Statistiquement, aucune différence n'est constatée pour les doses 1 et 2. La plus forte dose du produit enregistrait aussi le plus bas nombre de lésions (14%) observé sur environ 30% des feuilles. Le nombre de lésions le plus important est enregistré avec la plus faible dose où l'on pouvait compter en moyenne 32 lésions sur 39% des feuilles de chaque répétition. Cette dose se distinguait significativement au seuil de 5% des autres doses et du témoin non traité. Les attaques ont été plus sévère (5) également avec cette dose.

Une faible augmentation du nombre de feuilles a été constatée au septième jour après traitement et il n'y avait aucune différence significative entre les trois (3) doses. Le nombre de lésions a pourtant augmenté mais avec une sévérité relativement moyenne (photo 13). Aucune différence

significative n'a été observée entre les deux plus fortes doses point de vue pourcentage de feuilles avec des lésions. Le plus grand nombre de lésions à cette date est observé avec la plus faible dose. Avec 37 lésions, la dose moyenne affichait la meilleure performance à cette date. Dix jours après le traitement, la meilleure performance en termes de nombre moyen de feuilles est observée avec la dose 1 mais avec de multiples légions allongées de toutes tailles depuis les feuilles verticillées enroulées et donc une sévérité estimée à 7. Le nombre total de feuilles des deux autres doses de l'insecticide ne présentaient pas de différence significative et la sévérité des attaques était estimée à 6.



Photo 13 : Allure des plantules au dixième jour après traitement avec des extraits aqueux de graine de neem.

Cliché : KOUANDA 2020

Aucun signe de phytotoxicité n'a été observé avec cet insecticide au cours de cette expérimentation.

➤ **Extrait aqueux de feuilles : *Azadirachta indica* + *Ecalyptus camaldulensis* + *Ocimum americanum***

Le nombre moyen de feuilles par dose pour cet insecticide a également connu une légère augmentation au troisième jour après l'application (tableau 9) surtout avec la dose recommandée et la plus forte dose qui ne se distinguaient pas significativement selon les analyses statistiques. Seulement une augmentation moyenne de 5,88% du nombre moyen de feuilles est constatée avec la plus faible dose. Pour ce qui est du nombre moyen de légions, les

analyses statistiques n'ont pas révélé de différence significative entre les différents traitements au seuil de 5%, mais une faible sévérité était observée avec la plus forte dose.

Une semaine après l'application de l'insecticide, on pouvait remarquer une baisse du nombre de feuilles pour les doses 1 et 2, juste une légère augmentation de 1,75% était obtenue avec la plus forte dose. Le nombre de légions et le pourcentage de feuilles avec des légions ne différaient pas significativement au seuil de 5%. Plusieurs grandes lésions étaient présentes sur plusieurs feuilles d'où la sévérité estimée à 6 (photo 14).

Au dixième jour, le nombre moyen de feuilles et nombre moyen de lésions ne différaient pas significativement. Par contre, le pourcentage de feuilles avec des lésions était plus important avec la plus faible dose avec laquelle la sévérité était également assez importante.

Les observations visuelles n'ont pas permis de signaler une phytotoxicité pour cet insecticide.

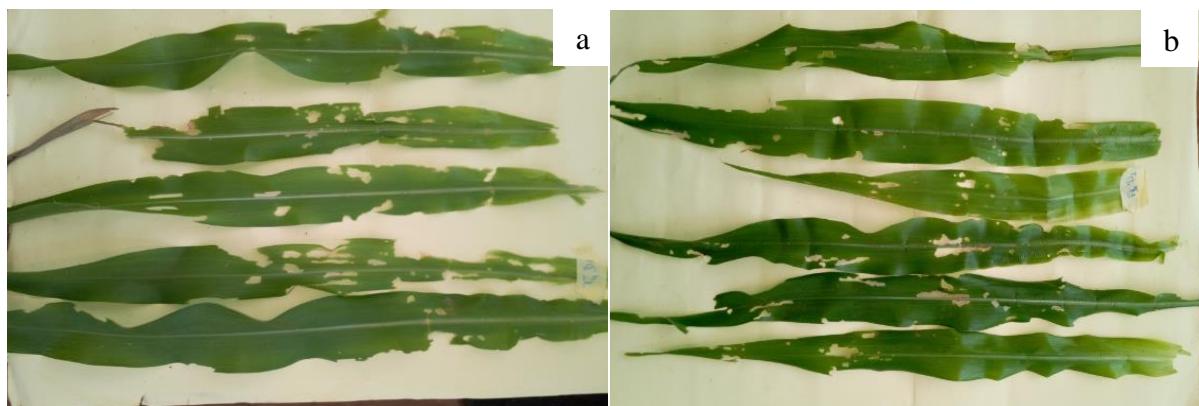


Photo 14 : Sévérité des attaques au dixième jour après traitement aux extraits aqueux de feuilles : *Azadirachta indica* + *Eucalyptus camaldulensis* + *Ocimum americanum*

a : T4D1, b : T4D3

Cliché : KOUANDA 2020

Tableau 7 : Incidence de *Bacillus thuringiensis* var Kurstaki sur la consommation de la biomasse des plantules de maïs

	Jour 0			Jour 3			Jour 7			Jour 10			
	Nombre total de feuilles	Nombre total de Feuilles	Pourcentage de feuilles avec légions	Nombre de légions	Sévérité	Nombre total de Feuilles	Pourcentage de feuilles avec légions	Nombre de légions	Sévérité	Nombre total de Feuilles	Pourcentage de feuilles avec légions	Nombre de légions	Sévérité
TNT	13,25 a	10,25 a	23,25 a	12,75 a	9	6,25 a	46,57 b	3,00 a	9	6,00 a	42,63 a	5,75 a	9
2,5g/l	12,25 a	13,00 ab	27,43 a	16,25 a	3	16,00 b	22,44 a	34,25 b	2	16,50 b	21,13 a	34,25 b	3
5g/l	14,25 a	15,00 b	20,50 a	9,75 a	3	18,25 b	16,61 a	26,00 ab	2	16,00 b	18,94 a	26,00 ab	2
10g/l	12,50 a	13,50 b	23,90 a	10,50 a	2	16,50 b	19,85 ac	24,25 ab	3	18,25 b	18,00 a	23,50 ab	3
P	0,105	0,00176	0,755	0,338		< 0,001	0,009	0,001		< 0,001	0,003	0,028	
F	2,54	9,44	0,40	1,24		43,38	6,22	5,27		33,05	8,06	4,28	

NB : Les moyennes d'une même colonne affectées d'une même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% ; test HSD (Honestly Significant Difference of means) de Tukey.

Tableau 8 : Incidence des extraits aqueux de graines d'*Azadirachta indica* sur la consommation de la biomasse des plantules de maïs

	Jour 0			Jour 3			Jour 7			Jour 10			
	Nombre total de feuilles	Nombre total de Feuilles	Pourcentage de feuilles avec légions	Nombre de légions	Sévérité	Nombre total de Feuilles	Pourcentage de feuilles avec légions	Nombre de légions	Sévérité	Nombre total de Feuilles	Pourcentage de feuilles avec légions	Nombre de légions	Sévérité
TNT	13,25 a	10,75a	23,25 a	12,75a	9	6,25 a	46,57 a	3,00 a	9	6,50a	42,63 a	5,75 a	9
67g/l	12,25 a	13,25ab	39,28 a	32,50 b	5	14,00 b	49,77 a	64,50 c	7	18,50 b	54,09 a	65,50 b	7
100g/l	12,25 a	12,50ab	32,60 a	17,00a	2	12,50 b	37,83 a	37,5 b	6	17,75 b	41,15 a	44,25 b	6
33/l	12,50 a	14,25 b	29,95 a	14,25a	1	12,75 b	47,29 a	43,00 bc	6	17,75 b	46,63 a	43,00 b	6
P	0,685	0,013	0,545	0,006		< 0,001	0,552	< 0,001		< 0,001	0,157		< 0,001
F	0,51	5,44	0,75	6,90		25,82	0,73	17,77		47,55	2,68		14,85

NB : Les moyennes d'une même colonne affectées d'une même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% ; test HSD (Honestly Significant Difference of means) de Tukey.

Tableau 9 : Incidence des extraits aqueux d'*Azadirachta indica*, d'*Eucalyptus camaldulensis* et d'*Ocimum americanum* sur la consommation de la biomasse des plantules de maïs

	Jour 0			Jour 3			Jour 7			Jour 10			
	Nombre total de feuilles	Nombre total de feuilles	Pourcentage de feuilles avec légions	Nombre de légions	Sévérité	Nombre total de feuilles	Pourcentage de feuilles avec légions	Nombre de légions	Sévérité	Nombre total de feuilles	Pourcentage de feuilles avec légions	Nombre de légions	Sévérité
TNT	13,25 a	10,75 a	23,25 a	12,75 a	9	6,25 a	46,57 ab	3,00 a	9	6,50 a	42,63 a	5,75 a	9
25g/l	12,00 a	12,75 ab	37,17 ab	22,5 a	6	12,25 bc	55,68 a	40,50 b	6	14,00 b	56,37 a	48,00 b	6
50g/l	13,25 a	14,25 b	47,97 b	45,50 a	7	10,75 b	56,17 a	34,00 b	5	15,00 b	48,62 a	56,75 b	7
100g/l	12,25 a	14,00 b	31,95 ab	19,25 a	3	14,50 c	40,16 a	39,50 b	6	16,00 b	42,09 a	52,50 b	4
P	0,416	0,002	0,029	0,321		< 0,001	0,513	0,004		< 0,001	0,479	0,003	
F	1,01	9,45	4,23	1,29		22,20	0,81	7,50		20,70	0,88	8,52	

NB : Les moyennes d'une même colonne affectées d'une même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% ; test HSD (Honestly Significant Difference of means) de Tukey.

1.5.2. Ennemis naturels potentiels de *Spodoptera frugiperda*

1.5.2.1. Les ennemis naturels potentiels répertoriés

Au cours de la campagne sèche, la recherche d'ennemis naturels potentiels a été essentiellement réalisée sur le site de Nabadogo. Trois prédateurs et un parasitoïde potentiels ont été répertoriés (tableau 10).

Tableau 10 : Ennemis naturels potentiels rencontrés pendant la campagne sèche

N°	Ordre	Famille	Latitude	Longitude	Statut potentiel
1	Coleoptera	Coccinellidae	12,14672	-2,04257	Prédateur
2	Diptera	Tachinidae	12,14746	-2,04212	Parasitoïde
3	Hymenoptera	Formicidae	12,0984	-2,14233	Prédateur
4	Dermoptera	Forficulidae	12,14706	-2,04282	Prédateur

Dans les champs de maïs et de sorgho prospectés au cours de la campagne hivernale, neuf (9) prédateurs potentiels et deux (02) parasitoïdes potentiels ont été répertoriés (annexe 5) et présenté dans le tableau 11 suivant. En effet, des observations minutieuses des œufs de *S. frugiperda* dans une parcelle de maïs nous a permis de voir un parasitoïde parasitant des œufs. Récoltés avec un morceau de feuille et l'insecte et ramener au laboratoire, ces œufs ont été placés dans un flacon contenant du coton légèrement humidifié avec de l'eau distillée et conservé à une température $25\pm10^{\circ}\text{C}$, une humidité relative de $70\pm10\%$ et une photopériode de 12h/12h. Un suivi quotidien de ces œufs a abouti à l'émergence d'une dizaine de larves au bout du troisième jour qui ont été éliminées. Le reste des œufs a été suivi quotidiennement et a abouti à l'émergence d'un parasitoïde qui, morphologiquement a été identifié comme appartenant au genre *Telenomus* au bout du 10^{ème} jour d'observations. Deux des captures n'ont pu être identifiées.

Tableau 11 : Ennemis naturels potentiels répertoriés au cours de la campagne hivernale

Numéro	Ordre	Famille	Latitude	Longitude	Statut potentiel
1	Coleoptera	Coccinellidea	12,23805	-2,41058	Prédateur
2	Diptera	Tachinidae	12,28765	-2,42944	Parasitoïde
3	Hymenoptera	Vespidea	12,37932	-1,49801	Prédateur
4	Hymenoptera	Sphecidae	12,37932	-1,49801	Prédateur
5	Hymenoptera	Formicidae	12,24296	-2,3846	Prédateur
6	Hemiptera	Reduviidae	12,28762	-2,4189	Prédateur
7	Dermoptera	Forficulidae	12,2885	-2,4189	Prédateur
8	Hymenoptera	Platygastridae	12,37932	-1,49801	Parasitoïde
9	Heteroptera	Nabidae	12,2862	-2,41876	Prédateur
10	NI*		12,37932	-1,49801	Prédateur
11	NI*		12,28812	-2,4187	Prédateur

NB : NI* : Non identifié

1.5.2.2.Les entomopathogènes potentiels

Des collectes de larves mortes ont été réalisées dans des champs de maïs au cours de nos investigations. Au total, treize (13) larves mortes ont été collectées. Ces dernières devraient être identifiées au Laboratoire d'Entomologie Fonctionnelle et Evolutive en Belgique. La pandémie de Covid 19 a empêché le déplacement sur le Belgique et donc les activités d'identification des entomopathogènes colonisant ces larves. Elles sont conservées au LEFA à l'Université Joseph KI-ZERBO pour une identification ultérieure.

II. Discussion

2.1. Monitoring

Les travaux d'investigations entrepris au cours de notre étude ont permis de capturer six (6) d'individus mâles de *S. frugiperda* dans la zone d'étude pendant la campagne hyvernaile. Ce suivi n'a duré que deux (2) semaines et a concerné sept (7) champ dans la région. Le faible taux de capture pourrait s'expliquer entre autre par cette courte durée d'observation et la période de piégeage (mois d'Août) caractérisée par de fortes pluies et de basses températures. En effet, selon Rojas et al. (2004), les captures des pièges sont positivement corrélées à la vitesse des vents et à la température et négativeent correlés à l'humidité relative de l'air. Ils précisent également que l'importance des captures était variable d'une saison à une autre et d'un site à un autre. Nboyine et al. (2019) ont également étudié la dynamique saisonnière des populations de *S. frugiperda* en utilisant des pièges à phéromones au Ghana. Le piégeage au cours de la campagne sèche n'a pas permis de capturer des adultes de *S. frugiperda*. Cela pourrait s'expliquer par les températures élevées observées au moment de la pose des pièges qui avaient entraîné la perte de la substance collante sur les pièges réduisant ainsi leur efficacité. En outre, cette période est caractérisée par une faiblesse de la vitesse des vents qui pourtant, jouent un rôle important dans les captures des pièges à phéromones (Rojas et al., 2004). La rareté de la culture cible principale (maïs) au cours de cette période pourrait également expliquer cet état de fait comme l'ont prouvé ces mêmes auteurs. Ces résultats sont en concordance avec ceux de Silvain & Hing (1985) qui avaient montré que les plus importantes populations de larves et d'adultes de *S. frugiperda* se rencontraient pendant la campagne humide et les plus faibles effectifs en campagne sèche. Ces captures sont d'une importance capitale et pourraient jouer un rôle important dans la réussite des traitements insecticides. En effet, le temps et le nombre des applications des insecticides dans la zone d'étude comme l'a montré nos enquêtes sont très variables. Cruz et al. (2010) et Cruz et al. (2012) disaient que le temps des applications des insecticides n'était pas clairement défini et que cela jouait sur l'efficacité des traitements.

Nous avons noté par ailleurs la capture de cinq (5) Lépidoptères non cibles (2 pendant la campagne sèche et 3 pendant la période pluvieuse). Prasanna et al. (2018) évoquaient la possibilité de capture d'insectes non cibles par certains pièges pouvant provoquer des confusions.

Le maïs est attaqué dans toutes les trois provinces. Le taux d'infestation est de 27% pour les zones nord-soudanienne et de 71% dans la partie sud-Soudanienne. Une tendance contraire est constatée avec le sorgho qui est attaqué à 15% dans les communes de Réo contre 3% dans la

commune de Léo. Ces résultats confirment l'hypothèse 4 de notre étude. Cette différence pourrait s'expliquer par le fait que le maïs soit plus produit dans la commune de Léo que dans celles de Sabou et de Réo où on retrouve beaucoup plus le sorgho. Ces taux d'infestation sont relativement élevés et l'intervention s'avère inévitable. En effet, Cruz et al. (2012) proposaient une prise en compte de captures, du nombre de plante présentant des symptômes de dégâts de larves (10 à 20%) pour une intervention chimique. Le ravageur a été retrouvé sur le chou et le sorgho dans la commune de Réo. Les observations faites au cours de campagne sèche sur les cultures maraîchères ont montré des symptômes de dégâts d'insectes, mais il était difficile de lier cela directement à *S. frugiperda*. En effet, plusieurs autres ravageurs des cultures maraîchères pourraient causer des dégâts similaires à ceux que causeraient *S. frugiperda*. C'est le cas de *P. xylostella* et de *H. armigera* qui provoquent des perforations des feuilles du chou et des feuilles et fruits de la tomate respectivement (Jaimes et al., 2010). Les recherches ont alors été focalisées sur la recherche de larves ou de déjections de larves de *S. frugiperda* pour ces cultures, ce qui n'a pas parmi d'affirmer la présence sur ces dernières.

2.2. Mode de gestion paysan de *Spodoptera frugiperda*

La grande majorité des agriculteurs (99%) de la zone d'étude connaissent *S. frugiperda*. Par contre, 58% affirment n'avoir pas encore reçu de formations spécifiques sur la chenille légionnaire. Ces résultats corroborent ceux de Kumela et al. (2019) qui avaient, à l'issue d'enquêtes réalisées auprès des agriculteurs, montré que 99% et 100% de ces derniers avaient des connaissances sur le bio-agresseur en Ethiopie et au Kenya respectivement. Ce fort taux de connaissance pourrait s'expliquer par les actions d'information menées par les agents d'encadrement dès l'apparition du ravageur ainsi que l'intervention de FAO dans la commune de Léo à travers l'approche champs écoles producteurs. Cette intervention a permis de toucher 392 agriculteurs dans la région du Centre-Ouest dont 50 dans la commune de Léo qui ont bénéficié de formations sur les itinéraires techniques du maïs et du sorgho, la biologie et l'écologie du ravageur et la conduite des analyses de l'agroécosystème (AAES) (Bambara, 2018). Des communiqués et des émissions radio interactives ont également été menés au cours de cette période contribuant ainsi à une large diffusion de l'information. Les maïs est produit par 98% des exploitants enquêtés sur une superficie moyenne de 1,87 ha, ce qui confirme les résultats de Hruska (2019) qui avait montré qu'environ 95% des producteurs de maïs au Sud du Sahara étaient des petits producteurs exploitant moins de 2 ha.

Le maïs et le sorgho ont été cités par 96% et 25% respectivement des enquêtés comme étant les cultures les plus attaquées dans la zone d'étude. Ces résultats sont en conformité avec ceux de

Rwomushana et al. (2018) qui avaient montré que le maïs était cité par 98,1 et 98,6% des producteurs comme plante attaquée par *S. frugiperda* au Ghana et en Zambie respectivement. Le sorgho par contre était cité par 3,9 et 2,3% des producteurs selon les mêmes auteurs. Le sorgho est produit dans tous les villages de la zone d'étude et occupe d'importantes superficies surtout dans les communes de Sabou et de Réo. Ce qui pourrait expliquer le niveau élevé des infestations de cette culture. Hendery (2018) disait que le sorgho était également une culture cible du ravageur et qu'une infestation dans les verticilles du sorgho pouvait réduire les rendements de 55 à 85%. Luginbill (1928) déclarait que l'insecte a une préférence marquée pour les plantes telles que la digitaire, le maïs, le sorgho et le bermuda et qu'il limiterait probablement ses attaques à ces plantes si elles étaient toujours disponibles. On pourrait alors comprendre pourquoi d'autres spéculations comme le chou, la tomate, l'oignon ont été citées par les producteurs au cours de cette étude comme plantes attaquées par le ravageur. En effet, le pays connaissant deux campagnes distinctes (pluvieuse et sèche) et le ravageur n'ayant pas de diapause (Prasanna et al., 2018), pourrait trouver refuge sur ces cultures pendant la campagne sèche dominée par la production des légumes en attendant le retour du maïs en campagne hivernale. Les différents tests de consommation confirment par ailleurs cet état de fait.

Le moyen de lutte le plus utilisé est la lutte chimique déployée par 95% des enquêtés contre le bio-agresseur. Parmi eux, 76% jugent que les insecticides utilisés sont efficaces. L'emamectine benzoate, l'acétamipride, la lambda cyhalothrine sont les molécules les plus citées par les agriculteurs enquêtés. Chez les distributeurs de pesticides, on retrouve les mêmes molécules sous diverses formulations (principalement liquide et solide). L'utilisation des insecticides chimiques de synthèse pour le contrôle de *S. frugiperda* est également confirmée par les études de Tambo et al. (2019), Chimweta et al. (2019) ; Kumela et al. (2019). Chimweta et al., (2019) ajoutent que 65% des agriculteurs utilisent des insecticides à usage restreint. Habraham (2017) a fait une synthèse des molécules utilisées au Brésil et au Péru et qui sont recommandées dans certains pays africains pour le contrôle le ravageur parmi lesquels nous retrouvons l'emamectine benzoate, la lambda cyalothrine, l'abamectine, l'acétamipride, l'azadiracthine, la cyperméthrine et le chlorepyrifos qui sont des molécules utilisées par les agriculteurs contre le ravageur au Centre-Ouest. Les insecticides appartiennent à diverses familles chimiques parmi lesquels les Pyréthrinoïdes, les organophosphorés, les carbamates dont le ravageur est connu comme résistant ((Yu (1991) ; Ríos-Díez et Benjumea (2011) ; Yu et al. (2013) ; León-García et al. (2012)). Ceci pourrait expliquer le fait que la plupart des formulations à base de ces molécules ne soient pas citées comme efficaces contre les ravageurs dans la zone d'étude. Les

plus efficaces (abemectine et emamectine benzoate) appartiennent à la famille des avermectines. Malheureusement, une résistance à l'emamectine benzoate et au méthomyl de la famille chimique des carbamates (une autre molécule commercialisée) est déjà signalée en Afrique du Sud par Bhusall et Chapagain (2020). Il faudra craindre un développement de résistance à ces molécules car elles sont non seulement utilisées par la majorité des producteurs au cours de la campagne, mais aussi sans respect des doses (sous dosage) dans la plupart des cas. Parmi les pesticides utilisés dans la zone d'étude, nous n'avons pas trouvé des insecticides spécifiquement homologués pour la lutte contre *S. frugiperda* comme le disait Assefa et Ayalew (2019) pour les pesticides utilisés en Ouganda. Néanmoins divers pesticides généraux (tels que les pyréthroïdes, les carbamates et les organophosphates) selon la même source et majoritairement recommandés pour la lutte contre les ravageurs du cotonnier et des cultures maraîchères et fruitières sont utilisés. De plus, 40% parmi les plus utilisés ne disposent pas d'homologation et ne sont donc pas autorisés pour une utilisation dans la zone CILSS. Un constat pareil est fait par Abraham et al. (2017) qui soulignaient que l'un des problèmes en Afrique est l'utilisation de faux pesticides qui augmentent les risques de développement des résistances et les dépenses des agriculteurs dont seulement 27% déclarent avoir obtenu des résultats satisfaisant au Ghana et en Zambie. Ceci est probablement lié au fait que le ravageur soit nouveau en Afrique (Goergen et al. 2016 ; Abrahams et al. 2017 ; Cock et al. 2017) et particulièrement au Burkina Faso (DPVC, 2017).

D'autres méthodes de lutte dont principalement la destruction des larves dans les champs, le sable et la cendre dans les verticilles sont utilisées par les producteurs dans la zone confirmant ainsi l'hypothèse 1. Kumela et al. (2018) ont, à l'issus d'une enquête menée en Éthiopie et au Kenya a montré que 14 % et 39 % des agriculteurs pratiquaient des méthodes culturales (telles que la cueillette et la destruction à la main des larves) respectivement, pour la gestion du ravageur. L'utilisation de la terre par les petits exploitants révèle un mode de gestion agro-écologique très fascinante (Hruska, 2019) provoquant la mort de la larve par dessiccation. En plus de ces propriétés physiques, le sol regorge une importante microfaune dont nombre d'entre eux peuvent tuer les larves de la chenille légionnaire. Fernando et Barreto (2003) ont montré que 75% des 1448 échantillons de sol récoltés au Brésil contenaient *Bacillus thuringiensis*. Williams et al., (2008) ont montré que 29% des échantillons des sols provenant des sols des champs de maïs au sud du Mexique contenaient du nucleopolyhedrovirus (SfMNPV) utilisables contre *S. frugiperda*.

2.3.Incidence sur les cultures maraîchères

Les différents poids des feuilles ont baissé au bout de la durée de l'expérimentation, témoignant de leur consommation par les larves. En serre, le suivi de nombre de feuilles présentant des lésions liées à la consommation des larves a prouvé que certaines plantes sont préférées à d'autres. Les feuilles de laitue ont été plus consommées en essais *in vitro* comparativement aux essais en serre. Cela serait probablement dû au fait que dans les boîtes de pétri, la larve a moins de possibilité de mobilité comparativement aux cases en serre. L'absence de feuilles avec des lésions du maïs à partir du 7^{ème} jour est liée à l'incidence des larves qui avaient complètement détruit les plantules. Concernant le chou, quatre plantules n'avaient également pas survécues aux attaques des larves, d'où la chute du nombre de feuilles avec des lésions au 7^{ème} jour. De façon globale, on note que ces spéculations pourraient constituer des hôtes alternatifs de *S. frugiperda* pendant les périodes de rareté du maïs c'est-à-dire la campagne sèche où on retrouve principalement les cultures maraîchères. Montezano et al. (2018) et CABI (2020) ont répertorié *Allium cepa* L., *Brassica oleracea*, *Solanum lycopersicum* et *Lactuca sativa* L. comme plantes hôtes de ce bio-agresseur car il pourrait provoquer des dégâts sur ces cultures légumières bien qu'elles ne soient pas ses premières cibles (Haulbert, 2019). On peut noter également qu'avec les essais en boîte de pétri, certaines cultures semblent être davantage consommées que d'autres. Il serait intéressant d'élever les larves de *S. frugiperda* exclusivement avec des feuilles de ces spéculations et d'en mesurer les paramètres de croissance : poids, longueur, durée de chaque stade, etc. Ces essais pourraient également être élargis à d'autres spéculations maraîchères.

2.4.Efficacité biologique des insecticides biologiques et botaniques

Les extraits aqueux de graines d'*A. indica*, *B. thuringiensis* et les extraits aqueux feuilles d'*A. indica*, d'*E. camaldulensis* et d'*O. americanum* ont montré des effets insecticides contre les larves de *S. frugiperda* ce qui confirme l'hypothèse 5.

Les extraits aqueux de graines de neem (*A. indica*) de la famille des Meliaceae (Campos et al., 2016) ont montré une efficacité aussi bien *in vitro* qu'en serre. Dans les conditions de nos expérimentations, il faut une concentration 170 g/l d'extrait aqueux macéré pendant 24 heures pour contrôler 50% des larves de stade L₂/L₃ de *S. frugiperda*. Les expérimentations conduites en serre ont permis de voir que malgré la présence des larves, la sévérité des attaques était moindre par rapport au témoin négatif. Les ingrédients actifs de neem responsables de ces effets peuvent selon Mordue et Blackwell (1993) être l'azadirachtine, le meliantriole, la salannine, le desacetyl salannine, le nimbine, le desacetyl nimbine, et la nimbidine. Ces molécules

possèdent des propriétés anti-appétant, répulsive, anti-oviposition et de régulation de la croissance (Schmutterer, 1990 et Bramhachari, 2004). Shannag et al. (2015) ont obtenu des mortalités larvaires (L_2) de 20 et 13% et affirmaient que cela peut refléter l'interférence du neem avec la régulation de l'alimentation et du métabolisme ainsi qu'avec l'anatomie et la fonction des tissus de l'intestin moyen des larves de *S. eridiana*. Dans une revue, Senthil-Nathan (2013) a répertorié une trentaine d'espèces de plantes de la famille des Meliaceae ayant des propriétés insecticides contre plusieurs lépidoptères. Treize (13) de ces plantes dont *A. indica* peuvent contrôler *S. frugiperda*.

Les extraits aqueux d'association de feuilles d'*A. indica*, d'*E. camaldulensis* et d'*O. americanum* pourraient contrôler 50% et 90% d'une population de larves de stade L_2/L_3 s'ils sont préparés à des concentrations de 347 g/l et 778 g/l respectivement. La plus forte dose de l'extrait aqueux d'association de feuilles d'*A. indica*, d'*E. camaldulensis* et d'*O. americanum* n'a permis de contrôle que 11% des larves en serre. Des extraits de feuilles d'*A. indica*, *O. sanctum* L., et *E. globulus* ont montré une activité insecticide significative contre les insectes *Asphis gossypi* Glover et *Phenacoccus solenopsis* Tinsley in vitro (Singh et al., 2012). Néanmoins, une réduction de la consommation des feuilles est constatée même si elle reste inférieure à celle causée par les graines de neem. Farhad et al. (2019) ont montré que des extraits à l'éthanol d'*E. camaldulensis* possédaient des propriétés insecticides et permettaient de contrôler des larves de stade L_3 de *Plutella xylostella*. Koul et al. (2008) ont montré que les huiles d'*E. globulus* Labill, ont été efficaces contre les parasites cibles. Ceci pourrait expliquer la réduction de la consommation de la biomasse des plantules traitées avec ces extraits.

Des essais in vitro, il ressort qu'à une dose de 8,7g/l, *B. thuringiensis* var Kurstaki pouvait contrôler 50% des larves de stade L_2/L_3 de *S. frugiperda*. En serre au bout de 72 h, une dose de 10g/l contrôlait 80% des larves. La consommation est nettement réduite avec l'application de *B. thuringiensis* en témoigne l'augmentation du nombre de feuilles et la faiblesse du nombre de lésions et de la sévérité au cours des différentes dates d'observation. Polanczy et al. (2000) ont montré que des suspensions de *Bt aizawai* HD 68 et de *Bt thuringiensis* contenant 3.10^8 cells/ml induisaient des mortalités de 100 et de 80% respectivement. La souche kurstaki de *B. thuringiensis* contrôle le stade larvaire de certaines noctuelles, tels que la tordeuse de la tomate et du tabac, le ver du chou, les arpenteuses, les enrouleurs de feuilles, les pyrales, les spongieuses, la Chenille légionnaire d'automne. L'ingestion de la bactérie paralyse le système digestif de l'insecte, et celui-ci cesse de se nourrir en quelques heures (www.missouribotanicalgarden.org). En effet, lorsque la bactérie est ingérée par la larve, le

cristal protéique qu'elle transporte libère une toxine mortelle qui trouve un environnement alcalin dans l'intestin de la larve. Cette toxine détruit l'intestin moyen qui se retrouve paralysé coupant ainsi l'appétit de la larve (www.fs.usda.gov). Ceci pourrait expliquer la réduction de la consommation des feuilles et l'évolution quasi normale des plantules. L'ensemble de ces résultats confirment l'hypothèse 5.

Par contre la souche commerciale de *B. bassiana* n'a donné aucune mortalité au bout de 72 heures. Nous émettons l'hypothèse de la non viabilité de la souche présente due à une exposition à des températures assez élevées avant leur utilisation. Borisad et Magane (2014) avaient en effet montré que *B. bassiana* ne tolérait pas les conditions météorologiques extrêmes (température avoisinant 37°C).

2.5. Ennemis naturels potentiels

Les parasitoïdes sont des agents biologiques dont au moins l'une des étapes de vie est intimement associée à des stades de vie du ravageur à des niveaux plus élevés de spécificité tandis que les prédateurs ne sont jamais intimement associés aux ravageurs qui leur servent de proies souvent avec moins de spécificité (Parsanna et al., 2018). Au cours de nos recherches, deux parasitoïdes potentiels ont été identifiés comme appartenant aux familles des Platygastridae et des Tachinidae. Des recherches menées de Juillet 2018 à Juillet 2019 au Ghana et au Bénin ont permis d'identifier une dizaine de parasitoïdes dont *T. remus* de la famille des Platygastridae et une espèce de Tachinidae (Agboyi et al, 2020). *T. remus* a été identifié comme une espèce parasitoïde des œufs de Lépidoptères dont *S. frugiperda* (Parsanna et al. (2018) ; Agboyi et al, 2020). La même espèce a été découverte dans d'autres pays comme la Chine (Liao et al., 2019). Kenis et al. (2019) ont par ailleurs identifié *T. remus* dans plus cinq (05) pays de l'Afrique occidentale (Côte d'Ivoire, Bénin, Niger), Australe (Kénya) et en Afrique du Sud comme candidat à la lutte biologique augmentative puisque déjà présent sur le continent. En effet, Le Dr Kenis déclarait dans CABI (2020b) qu'en Amérique latine, des lâchées de *T. remus* dans des champs de maïs pouvaient entraîner un parasitisme de 80% à 100%, ce qui permettait de contrôler totalement la légionnaire d'automne et qu'il était nécessaire de comprendre davantage sur le complexe de parasitoïdes potentiellement présent en Afrique avant d'envisager toute introduction de parasitoïdes venant des pays d'origine du bio-agresseur. L'espèce de Tachinidae est connue pour son action de parasitisme sur les larves de *S. frugiperda* (Parsanna et al., 2018 ; Agboyi et al, 2020).

Des insectes de la famille des Forficulidae et des Coccinellidea ont été retrouvés dans les champs de maïs aussi bien en campagne sèche qu'en campagne hivernale. Shylesha et al. (2018)

ont observé *Forficula sp* se nourrissant de larves de *S. frugiperda* dans certains champs qui étaient exempts de pulvérisations insecticides. C'est l'un des plus importants ennemis naturels de *S. frugiperda* (Parsanna et al., 2018). Cokola (2019) a également identifié des Dermoptères et des coléoptères appartenant à ces familles au Congo RDC. L'ensemble confirme notre hypothèse 2 selon laquelle il existe des ennemis naturels potentiels au Centre-Ouest.

Conclusions et perspectives

Ce travail de recherche sur des initiatives innovantes alternatives à la lutte chimique contre *S. frugiperda* visait principalement à évaluer l'incidence du ravageur sur les cultures maraîchères et céréalier, à identifier les modes de gestion paysannes du ravageur dans la région, à identifier les souches existantes au Centre-Ouest, à rechercher des ennemis naturels potentiels du ravageur et à tester des insecticides botaniques et biologiques contre le ravageur.

S. frugiperda est présente dans la région du Centre-Ouest et a une forte incidence sur les cultures céréalier notamment le maïs et le sorgho. La grande majorité des producteurs de la région du Centre-Ouest utilisent des pesticides chimiques de synthèse contre *S. frugiperda*. Plusieurs molécules entrent dans cette lutte dont la plus utilisée est l'emamectine benzoate. D'autres méthodes de lutte sont également utilisées, mais à des échelles moins importantes que la lutte chimique. Les résultats des différentes expérimentations menées au cours de ces travaux montrent que les extraits aqueux des graines de neem et la formulation commerciale de *B. thurengiensis* constituent des alternatives intéressantes contre le bio-agresseur. L'utilisation d'autres formulations de *B. thurengiensis* rencontrées sur la place du marché à 32000uL/mg donnera certainement une DL₅₀ inférieure à celles que nous avons obtenues. En plus, les ennemis naturels potentiels notamment les parasitoïdes des familles des Platygastridae et des Tachinidae ainsi que le prédateur de la famille des Forficulidae sont de potentiels candidats pour une lutte biologique dans cette partie du pays. Encore faut-il que les agriculteurs aient davantage de connaissances sur ces ennemis naturels ainsi que leurs avantages pour les petits producteurs.

Plusieurs molécules sont utilisées mais nombre d'entre elles ne sont pas citées comme vraiment efficaces faisant ainsi penser à des développements de résistances. Il serait intéressant de mieux comprendre les mécanismes qui expliquent cet état de fait. En plus une meilleure connaissance de ces ennemis naturels et étude sur l'impact de ces insecticides sur les ennemis naturels sont indispensables pour mieux orienter des actions de lutte intégrée.

Le ravageur est présent aussi bien en campagne sèche qu'en campagne hivernale. Une compréhension de la dynamique de sa population ainsi que les conditions climatiques qui régissent cette répartition dans le temps et dans l'espace serait intéressante pour la mise en place de meilleures actions de lutte.

Les graines de neem ont été macérées pendant 24 heures pour les tests au cours de ce travail. D'autres essais avec des durées de macération plus longues sont intéressants à réaliser. De même, la pandémie à Covid-19 a empêché la réalisation de certaines activités telles la caractérisation moléculaire et l'identification des entomopathogènes colonisant les larves de *S. frugiperda*.

frugiperda collectée sur le terrain. Ces activités pourraient se poursuivre, avec un élargissement à tout le pays, afin d'identifier les souches du ravageur présentes et celles des entomopathogènes colonisant les larves qui pourraient constituer un arsenal intéressant dans la gestion intégrée de *S. frugiperda*.

Seules quatre spéculations maraîchères ont été testées, un élargissement à d'autres cultures maraîchères ainsi que la mesure des paramètres de croissance pour chaque culture orienteraient davantage la prise de décisions.

Bibliographie

Abrahams P., Bateman M., Beale T., Clottey V., Cock M., and Colmenarez Y., et al., 2017. Fall armyworm: Impacts and implications for Africa. Wallingford: CABI. 144p.

Adams R. G., Murray K. D., and Los L. M., 1989. Effectiveness and selectivity of sex pheromone lures and traps for monitoring fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) adults in Connecticut sweet corn. *J Econ Entomol.* 82 (1): 285–290.

Agboyi K. A., Goergen G., Patrick B., Samuel A. M., Victor A. C., Raymond G., Alan B., Giovanni C., Lisa O., Roger D., Ivan R., and Marc K., 2020. Parasitoid Complex of Fall Armyworm, *Spodoptera frugiperda*, in Ghana and Benin. *Insects* 2020, 11, 68, doi:10.3390/insects11020068. 15p. www.mdpi.com/journal/insects.

Ahmad M., and Arif M. I., 2007. Occurrence of insecticide resistance in field populations of *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae) in Pakistan. *Crop Prot* 26: 809–817.

Ahmad M., and Arif M. I., 2010. Resistance of beet armyworm *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae) to endosulfan, organophosphorus and pyrethroid insecticides in Pakistan. *Crop Prot* 29: 1428–1433.

Alves S. B., Lopes R. B., Vieira S. A., and Tamai M. A., 2008. Fungos entomopatogênicos usados no controle de pragas na América Latina. In: Alves SB (Ed). Controle microbiano de pragas na América Latina: avanços e desafios. Piracicaba: FEALQ, p. 69-110

Anand R., Prasad B., and Tiwary B. N., 2009. Relative susceptibility of *Spodoptera litura* pupae to selected entomopathogenic fungi. *BioControl* 54: 85–92.

Anyim A., Ukonu V. M., and Emerole C. O., 2019. Effect of weeding on population of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) and yield of maize (*Zea mays* L.) in umudike, Abia state, Nigeria. *Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development* Vol. 19, Issue 3, 2019 PRINT ISSN 2284-7995, E-ISSN 2285-3952. 5p.

Ashley T. R., Barfield C. S., Waddill V. H., and Mitchell E. R., 1983. Parasitization of fall armyworm larvae on volunteer corn, bermudagrass, and paragrass. *The Florida Entomologist*, Vol. 66, No. 2. 267-271.

Bambara N. T., 2018. Mission de mise en œuvre et de suivi du fonctionnement des Champs Ecoles des Producteurs (CEP) pour une gestion durable de la chenille légionnaire d'automne (CLA) dans les régions du Sud-Ouest, des Cascades et du Centre-Ouest. Rapport d'activités/Projet TCP/BKF/3606, FAO. 32p.

Barrera G., Simón O., Villamizar L., Williams T., and Caballero P., 2011. *Spodoptera frugiperda* multiple nucleopolyhedrovirus as a potential biological insecticide: Genetic and phenotypic comparison of field isolates from Colombia.

Baskar K., Maheshwaran R., Kingsley S. and Ignacimuthu S., 2011. Bioefficacy of plant extracts against Asian army worm *Spodoptera litura* Fab. (Lepidoptera: Noctuidae). Journal of Agricultural Technology 2011 Vol. 7(1): 123-131. Available online <http://www.ijat-rmutto.com>. ISSN 1686-9141

Bessin R., 2003. Fall armyworm in corn. Lexington: University of Kentucky.

Bhavani B., Chandra S. V., Varma K. P., Lakshmi B. M., Jamuna P., and Swapna B., 2019. Morphological and molecular identification of an invasive insect pest, fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* occurring on sugarcane in Andhra Pradesh, India. Journal of Entomology and Zoology Studies 7 (4): 12-18.

Bhusal S. and Chapagain E., 2020. Threats of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) incidence in Nepal and it's integrated management-A review. Journal of Agriculture and Natural Resources (2020) 3 (1): 345-359. ISSN: 2661-6270. ISSN: 2661-6289. <https://orcid.org/0000-0002-5051-454X>

CABI, 2016. Datasheet *Spodoptera frugiperda* (fall armyworm) Invasive Species Compendium, <http://www.cabi.org/isc/datasheet/29810>

CABI, 2018. *Spodoptera frugiperda* (fall armyworm). <https://www.cabi.org/isc/datasheet/29801>.

CABI, 2020b. Study reveals ‘net’ is closing in on more viable biological control options for fall armyworm menace. <https://www.cabi.org/news-article/study-reveals-net-is-closing-in-on-more-viable-biological-control-options-for-fall-armyworm-menace>.

CABI, 2020a. *Spodoptera frugiperda* (fall armyworm). Distribution Maps. <https://www.cabi.org/isc/fallarmyworm>

Capinera J. L., 2017. Fall Armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Insecta: Lepidoptera: Noctuidae). <http://entomology.ifas.ufl.edu/creatures>. 6p.

Casmuz A., Juárez M. L., Socías M. G., Murúa M. G., Prieto S., Medina S., and Willink E., Gastaminza, G., 2010. Revisión de los hospederos del gusano cogollero del maíz, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). Revista de la Sociedad Entomológica Argentina 69: 209-231.

Chimweta M., Nyakudya I. W., Jimu L. & Mashingaidze A. B., 2019. Fall armyworm [*Spodopterafrugiperda* (J.E. Smith)] damage in maize: management options for flood-recession cropping smallholder farmers, International Journal of Pest Management, DOI: 10.1080/09670874.2019.1577514. <https://doi.org/10.1080/09670874.2019.1577514>. 14p.

Chormule A., Shejawal N, Sharabasappa, Kalleshwaraswamy C. M., Asokan R. and Swamy HM. M., 2018. First report of the fall Armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith)

(Lepidoptera, Noctuidae) on sugarcane and other crops from Maharashtra, India. Journal of Entomology and Zoology Studies 2019; 7(1): 114-117

Clark P. L., Molina-Ochoa J., Martinelli S., Skoda S. R., Isenhour D. J., Lee D. J., Krumm J. T. and Foster J. E., 2007. Population variation of *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) in the western Hemisphere. J. Insect Sci. 7, 1-10.

Clavel D., and Welcker C., 1996. La résistance multiple du maïs aux chenilles foreuses et défoliatrices. Cahier Agricultures 1996; 5; 149-156.

Cock M. J. W., Beseh P. K., Alan G., Cafá G., & Crozier J., 2017. Molecular methods to detect *Spodoptera frugiperda* in Ghana, and implications for monitoring the spread of invasive species in developing countries. Scientific Reports. 10 p.

Cokola C. M., 2019. Monitoring, caractérisation moléculaire et lutte biologique contre *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera : Noctuidae). Mémoire de fin de cycle. 74p. URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/8077>.

Contreras-Cornejo H.A., Del-Val EK., Lourdes M-R., Alarcón A., González-Esquivel C. E., and Larsen J., 2018. Trichoderma atroviride, a maize root associated fungus, increases the parasitism rate of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* by its natural enemy *Campoletis sonorensis*. *Soil Biology and Biochemistry* 122. 196–202.

Cruz I., Figueiredo M. L. C., Silva R. B., Silva I. F., Paula C. S., & Foster E. J., 2012. Using sex pheromone traps in the decision making process for pesticide application against fall armyworm (*Spodoptera frugiperda* [Smith] [Lepidoptera: Noctuidae]) larvae in maize. International Journal of Pest Management, 58:1, 83-90, DOI: 10.1080/09670874.2012.655702. <https://doi.org/10.1080/09670874.2012.655702>.

Cruz T., Figueiredo M. C., Silva R. B. D., John E., and Foster J. E., 2010. Efficiency of chemical pesticides to control *Spodoptera frugiperda* and validation of pheromone trap as a pest management tool in maize crop. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.9, n.2, p.107-122, 2010.

Day R., Abrahams P., Bateman M., Beale T., Clottey V., Cock M., Yelitzia C., Natalia., Regan E., Godwin J. L., Jose G., Moreno P. G., Murphy S. T., Oppong-Mensah B., Phiri. N., Pratt C., Silvestri S. and Witt A., 2017. Fall Armyworm: Impacts and Implications for Africa. *Outlooks on Pest Management* 28 (5), 196-201.

Débora G. M., Alexandre S., Daniel R. S-G., Vânia F. R-S., Silvana V. P-M., Julie A. P., et Thomas E. H., 2019. Developmental Parameters of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) Immature Stages Under controlled and Standardized Conditions. Journal of Agricultural Science; Vol. 11, No. 8. 14p.

Early R., Gonzalez M. P., Murphy S. T., and Day R., 2018. Forecasting the global extent of invvasive of the cereal pest *Spodoptera frugiperda*, the fall armyworm. Neo Biota N°40 25-50.

Ehlers R. U., and Peters, A., 1996. Entomopathogenic nematodes in biological control: feasibility, perspectives and possible risks. In H.M.T. Hokkanen, & J.M. Lynch (Eds.), Biological Control: Benefits and Risks (pp. 119–135). Cambridge, UK: Cambridge University Press.

EPPO, 2018. Global database. Paris, France. <https://gd.eppo.int/>

EPPO, 2019. Global database. First rapport of *Spodoptera frugiperda* in Egypt. <https://gd.eppo.int/reporting/article-6566>

FAO, 2003. Code international de conduite pour la distribution et l'utilisation des pesticides. Version révisée et adoptée lors de la 23ème session du conseil de la FAO en 2002, 36 p.

FAO, 2018. Gestion intégrée de la chenille légionnaire sur le maïs, 135 p

Farhad A., Muhammad T., Farid A. S., Mashwani Z., Zainab T., and Gulzar A., 2019. Toxicity of different plant extracts and green silver nanoparticles against *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). Plant Protection, 03 (03), 151-159 DOI: 10.33804/pp.003.03.0163. 9p.

Faria M. R., and Wraight S. P., 2007. Mycoinsecticides and Mycoacaricides: A comprehensive list with worldwide coverage and international classification of formulation types. Biological Control 43 (2007) 237–256.

Figueiredo M. L. C., Penteado-Dias A. M., & Cruz I. D., 2005. Provocados por *Spodoptera frugiperda* na produção de matéria seca enos rendimentos de grãos, na cultura do milho. (Comunicado Técnico, 130). Embrapa/CNPMS, Sete Lagoas, Brazil, 6 p.

Flanders K., Ball D. M., Cobb P.P., 2017. Management of fall armyworm in pastures and hay fields. Alabama A&M University and Auburn University: Alabama Cooperative Extension System.

Fuxa J. R., Richter A. R., and Gudelo-Silva F., 1988. Effect of Host Age and Nematode Strain on Susceptibility of *Spodoptera frugiperda* to *Steinernema feltiae*. Journal of Nematology 20 (1): 91-95

Gahukar R.T., 2014. Factors affecting content and bioefficacy of neem (*Azadirachta indica* A. Juss.) phytochemicals used in agricultural pest control: A review. Crop Protection 62 (2014) 93-99.

Ganiger, P. C., Yeshwanth, H. M., Muralimohan, K., Vinay, N., Kumar, A. R. V., and Chandrashekara, K., 2018. Occurrence of the new invasive pest, fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), in the maize fields of Karnataka, India. Current Science, 115 (4), 621-623.

Garba M., Haougui A. B. A., Kimba A., Delmas P., Salissou O., 2017. La Chenille légionnaire du maïs *Spodoptera frugiperda*. RECA, Niger. 4p.

Germain J.F., Goergen G., Reynaud P., and Silvie P., 2017. Une noctuelle américaine envahit l'Afrique. In: Decoin M. (ed.) Ravageurs. Phytoma, (707), 34-37. ISSN 1164-6993.

Goergen G., Kumar P. L., Sankung S. B., Togola A., and Tam 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. 0165632. 9 p.

Greathead D. J., Kooyman C., Launois-Luong M. H., et Popov G. B., 1994. Les ennemis naturels des criquets du Sahel. Collection acridologie opérationnelle N°8. CILSS-DFPV/CIRAD-PRIFAS, Niamey, Niger.

Guo J.F., Zhao J.Z., He K.L., Zhang F., and Wang Z.Y., 2018. Potential invasion of the crop-devastating insect pest fall armyworm *Spodoptera frugiperda* to China. *Plant Protection*, 44, 1–10.

Hebert P. D. N., Cywinska A., Ball S. L. & deWaard J. R., 2003. Biological identification through DNA barcodes. Proc. Roy. Soc. Lond. Ser. B, Biol. Sci. 270, 313–321. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194571>

Hemasree, 2013. A critical review on the natural occurrence of entomopathogenic fungi in agricultural ecosystem. *International Journal of Applied Biology and Pharmaceutical Technology Available online at www.ijabpt.com*. 4p.

Hendery S., 2018. Not just maize: Africa's fall armywormcrisis threatens sorgho. Um, other crops to. Entomology today.

Hernandez-Trejo A., Estrada-Drouaillet B., López-Santillán J. A., Rios-Velasco C., Rodríguez-Herrera R., and Osorio-Hernández E., 2019. Effects of Native Entomopathogenic Fungal Strains and Neem Extract on *Spodoptera frugiperda* on Maize. Southwestern entomologist. VOL. 44, NO. 1. 117-174

Hinds W. E., 1914. Reducing insect injury in stored corn. Journal of Economic Entomology Volume 7, Issue 2, 203–211. <https://doi.org/10.1093/jee/7.2.203>.

Hominick W.M., 2002. Biogeography. In: R. Gaugler (ed.), entomopathogenic nematology. CABI Publishing, Oxon, New York, pp. 115-144

Hong T., Su Q., Zhou X., and Bai L., 2013. Field resistance of *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidea) to organophosphates, pyrethroids, carbamates and four newer chemistry insecticides in Hunan, China. J Pest Sci (2013) 86: 599-609. DOI 10.1007/s10340-013-0505-y. 11p

Hruska A. J., 2019. Fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) management by smallholders. CAB Reviews 2019 14, No. 043. DOI : 10.1079/PAVSNNR201914043. 11p.

INSD, 2009. Projections démographiques de 2007 à 2020 par région et province. Burkina Faso, Ministère de l'économie et des finances. 69p.

IPPC, 2018. First detection of Fall ArmyWorm on the border of Thailand. IPPC Official Pest Report, No. THA-03/1. FAO: Rome, Italy. <https://www.ippc.int/>

IPPC, 2019. First Detection Report of the Fall Armyworm *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) on Maize in Myanmar. IPPC Official Pest Report, No. MMR-19/2. FAO: Rome, Italy. <https://www.ippc.int/>

James B., Atcha-Ahowé C., Godonou I., Baimey H., Goergen G., Sikirou R. et Toko M., 2010. Gestion intégrée des nuisibles en production maraîchère : Guide pour les agents de vulgarisation en Afrique de l'Ouest. ISBN 978-978-50004-4-3. 92p.

Jacobs A., Van Vuuren A., and Rong I.H., 2018. Characterisation of the fall armyworm (*Spodoptera frugiperda* J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) from South Africa. African Entomology 26 (1): 45–49.

Jaime M-O., James E. C., Roberto L-G., John E. F., Martín G-R., César A. A-S. et Javier S-L., 2004. Natural distribution of hymenopteran parasitoids of *Spodoptera frugiperda* (lepidoptera: noctuidae) larvae in Mexico. Florida Entomologist, 87(4): 461-472.

Jarrod T. H., Gus M. L., and Rogers B. L., 2015. Fall Armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) Ecology in Southeastern Cotton. J. Integ. Pest Mngmt. 6(1): 8p.

Jing D. P., Guo J. F., Jiang Y. Y., Zhao J-Z., Sethi A., He H-L., and Wang Z-Y., 2019. Initial detections and spread of invasive *Spodoptera frugiperda* in China and comparisons with other noctuid larvae in cornfields using molecular techniques. *Insect Science* 00, 1-11.

Jing D., Guo J., Jiang Y., Zhao J, Sethi A, He H. and Wang Z., 2019. Initial detections and spread of invasive *Spodoptera frugiperda* in China and comparisons with other noctuid larvae in corn fields using molecular techniques. *Insect Science* (2019) 00, 1–11, DOI 10.1111/1744-7917.12700

Kambou G. et Millogo M. A., 2018. 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. JECET; December 2018- February 2019; Sec. A; Vol.8. No.1, 036-051.

Kenis M., Hannalene P., Johnnie V. B., Malick N., B., Goergen G., Koffi E. K., Baoua I., Tefera T., Buddie A., Giovanni C., Offord L., Rwomushana I., and Polaszek A., 2019. *Telenomus remus*, a candidate parasitoid for the Biological Control of *Spodoptera frugiperda* in Africa, is already Present on the Continent. Insects 2019, 10, 92, doi:10. 3390/insects 10040092. www.mdpi.com/journal/insects.

Khachatourians G. G., and Sohail S. Q., 2008. Entomopathogenic fungi. In: Brakhage AA, Zipfel PF (eds) Biochemistry and molecular biology, human and animal relationships, 2nd edn. The Mycota VI. Springer, Berlin.

Khan, M.A., and Ahmad, W., 2015. The Management of Spodopteran Pests Using Fungal Pathogens, in: Sree, K.S., Varma, A. (Eds.), Biocontrol of Lepidopteran Pests. Springer International Publishing, Cham, pp. 123-160.

Koul O., Singh G., Singh R., Singh J., Daniewski W. M., and Berlozecki S., 2004. Bioefficacy and mode of action of some limonoids of salannin group from *Azadirachta indica* A. Juss and their role in a multicomponent system against lepidopteran larvae. *J. Biosci.*, 29: 409 – 416

Kumela T., Simiyu J., Sisay B., Likhayo P., Mendesil P., Gohole L. and Tefera T., 2019. Farmers' knowledge, perceptions, and management practices of the new invasive pest, fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in Ethiopia and Kenya. International journal of pest management, 2019. VOL. 65, NO. 1, 1–9. <https://doi.org/10.1080/09670874.2017.1423129>

Lacey L. A., 2017. Entomopathogens used as microbial control agents. 10p <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-803527-6.00001-9>

León-García I., Rodríguez-Leyva E., Ortega-Arenas L. D., and Solís-Aguilar J. F., 2012. Insecticide susceptibility of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) associated with turfgrass at Quintana Roo, México. Agrociencia, 2012. Volumen 46, Número 3. 9p.

Lhoste J., et Normand M. L., 1987. La lutte contre les insectes nuisibles à l'agriculture et son influence sur l'environnement. Cah. Liaison O.P.I.E. vol. 21 (3) 1987, 66, 39-41.

Lima M. S., Silva P. S. L., Oliveira O. F., Silva K. M. B., and Freitas F. C. L., 2010. Corn yield response to weed and fall armyworm controls. Planta Daninha, Viçosa-MG, v. 28, n. 1, p. 103-111.

Luginbill P., 1928. The fall armyworm. US Dept AgricTech Bull. 4 :1-91.

MAAH, 2018. Lutte contre la chenille légionnaire d'automne au Burkina Faso campagne agricole 2018-2019. 12 p.

Machado V., Wunder M., Baldissera V. D., Oliveira J. V., Fuiza L. M., and Nagoshi R. N., 2008. Molecular characterization of host strains of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Southern Brazil. Ann. Entomol. Soc. Am. 101(3): 619-626.

Magrini F. E., Specht A., Gaio A., Girelli P. C., Miguez I., Heinzen H., Saldana J., Sartori V. C., Cesio V., 2015. Antifeedant activity and effects of fruits and seeds extracts of Cabralea canjerana canjerana (Vell.) Mart. (Meliaceae) on the immature stages of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). F.E. Magrini et al. / Industrial Crops and Products 65. 150-158.

MAHRH, 2007. Document guide de la révolution verte. Septembre 2007. 98p.

Malo E. A., Cruz-Lopez L., Valle-Mora J., Virgen A., Sanchez J. A., and Rojas J. C., 2001. Evaluation of commercial pheromone lures and traps for monitoring male fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) in the coastal region of Chiapas, Mexico. Florida Entomol. 84(4): 659–664.

Malo E. A., Bahena F., Miranda M. A. et Valle-Mora J., 2004. Factors affecting the trapping of males of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: noctuidae) with pheromones in Mexico. Florida Entomologist 87(3). 288-293.

Matti P. V., and Patil S. B., 2019. Life cycle of an invasive fall armyworm, *spodoptera frugiperda* (j. E. Smith) (lepidoptera: noctuidae) on sugarcane. J. Exp. Zool. India Vol. 22, No. 2, 1185-1187.

Meacher R., 2001. Rapping fall armyworm (lepidoptera: noctuidae) adults in traps baited with pheromone and a synthetic floral volatile compound. Florida Entomologist 84(2). 288-292.

Meagher R. L., and Nagoshi R. N., 2003. Attraction of Fall Armyworm Males (Lepidoptera: Noctuidae) to Host Strain Females. Environ. Entomol. 42 (4): 751-757.

Michael H., Wee T., Thomas K. W., Dalton K., Stella A., Joseph A., Stephen O., Julius S., Simon A., Grace A., Godfrey A., and Ambrose A., 2018. Detection of sister-species in invasive populations of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) from Uganda. 15 p.

Midega C. A.O., Pittchar J. O., Pickett J. A., Hailua G. W., and Khana 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>

Montezano D.G., Specht A., Sosa-Gómez D.R., Roque-Specht V.F., Sousa-Silva J.C., Paula-Moraes S.V., Peterson J.A. & Hunt T.E., 2018. Host plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas. African Entomology 26 (2): 286–300 (2018). DOI: <https://doi.org/10.4001/003.026.0286>

Mugisha-Kamatenesi M., Deng A. L., Ogendo J.O., Omolo E. O., Mihale M. J., Otim M., Buyungo J. P., and Bett P. K., 2008. Indigenous knowledge of field insect pests and their management around Lake Victoria basin in Uganda. African Journal of Environmental Science and Technology Vol. 2 (8). pp. 342-348.

Munoz E., Lamilla C., Marin J. C., Alarcon J., and Cespedes C. L., 2013. Antifeedant, insect growth regulatory and insecticidal effects of Calceolaria talcana (Calceolariaceae) on *Drosophila melanogaster* and *Spodoptera frugiperda*. Industrial Crops and Products 42. 137–144.

Nagoshi R. N., Goergen G., Plessis H. D., Berg V. D. B., & Meagher Jr D., 2019. Genetic comparisons of fall armyworm populations from 11 countries spanning sub-Saharan Africa provide insights into strain composition and migratory behaviors. *Scientific Reports*. 11p.

Nagoshi R. N., M. Muru G. A., Hay-Roe M., JuaRez M. L., willink E., and Meagher R. L., 2012. Genetic Characterization of Fall Armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) Host Strains in Argentina. *J. Econ. Entomol.* 105(2): 418-428

National Agricultural Technology Extension Service Center (NATESC), 2019. Major pest *Spodoptera frugiperda* have invaded in Yunnan, and all areas should immediately strengthen investigation and monitoring. *Plant Pathogen and Pest Information*, N°7. 1-18. <https://www.natesc.org.cn/>

Nboyine J.A., Kusi F., Abudulai M., Badii B.K., Zakaria M., Adu G.B., Haruna A., 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. 7p. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.104960>.

Otim M. H., Tay W.T., Walsh T.K., Kanyesigye D., Adumo S., Abongosi J., and al., 2018. Detection of sister-species in invasive population of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) from Uganda. *PLOS ONE* 13(4): e0194571.

Pashley D. P., 1988. Current status of fall armyworm host strains. Department of Entomology Louisiana State University Baton Rouge, Louisiana 70803. 8p.

Pashley D. P., Johnson S. J. and Sparks, A. N., 1985. Genetic population structure of migratory moths: the fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae). *Ann. Entomol. Soc. Am.* 78, 756–762.

Pintureau B., 2015. Les moyens de la lutte biologique faisant appel à des auxiliaires. <https://www.futura-sciences.com/> Consulté le 05/03/2020 à 7h 21 mn.

Pitre H. N., and Hogg D. B., 1983. Development of the fall armyworm on cotton, soybean and corn. *Journal of the Georgia Entomological Society*, 18: 187-194.

PNDES, 2015. Plan National de Développement Economique et Social. 97 p

Pogue M. G., 2002. A world revision of the genus *Spodoptera Guenee* (Lepidoptera: Noctuidae). *Mem. Am. Entomol. Soc.* 43: 1D 202.

Polanczyk R. A., Pires R. F., Silva D., and Fiúza L. M., 2000. Effectiveness of *Bacillus thuringiensis* strains against *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Brazilian Journal of Microbiology*. 31:165-167 ISSN 1517-8382. 165-167

Pomari-Fernandes F., Bueno A. F., Bortoli S. A, and Favetti B. M., 2018. Dispersal capacity of the egg parasitoid *Telenomus remus* Nixon (Hymenoptera: Platygastridae) in maize and soybean crops.

Poornima V. M., and Sanjay B. P., 2019. Life cycle of an invasive fall armyworm, *Spodoptera Frugiperda* (J. E. Smith) (lepidoptera: noctuidae) on sugarcane. J. Exp. Zool. India Vol. 22, No. 2, pp. 1185-1187.

Prada D. A-G., Chalarca J. R. and Cataño S. J. V., 2017. Identification of Lepidoptera Larval Stages A Maize Pest. ISBN : 978-958-694-217-1. CIAT. 2-16.

Prasanna B. M., Huesing E. F., Eddy R., Virginia M. and Peschke M. V., 2018. Fall Armyworm in Africa: a guide for integrated pest management, 1st edition. Mexico, CDMX, CIMMY. 120 p.

Ramirez G.L., Bravo M. H., and Llanderal C. C., 1987. Development of *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) under different conditions of temperature and humidity. Agrociencia N°67 161-171.

Ríos-Díez J. D.; and Saldamando-Benjumea C. I., 2011. Susceptibility of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) strains from central colombia to two insecticides, Methomyl and Lambda-Cyhalothrin: A Study of the Genetic Basis of Resistance. J. Econ. Entomol. 104(5): 1698-1705 (2011); DOI: <http://dx.doi.org/10.1603/EC11079>. 9p.

Rivero-Borja M., Guzmán-Franco A.W., Rodríguez-Leyva E., Santillán-Ortega C., and Pérez-Panduro A., 2018. Interaction of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* with chlorpyrifos ethyl and spinosad in *Spodoptera frugiperda* larvae: Fungusinsecticide interactions. Pest Management Science 74, 2047-2052.

Rojas J. C., Virgen A. R., and Malo E. A., 2004. Seasonal and nocturnal flight activity of *spodoptera frugiperda* males (lepidoptera: noctuidae) monitored by pheromone traps in the coast of chiapas, mexico. Florida Entomologist 87(4). 496-503.

Rwomushana I., Bateman M., Beale T., Bese P., Cameron K., Chiluba M., Clottey V., Davis T., Day R., Early R., Godwin J., Gonzalez-Moreno P., Kansiime M., Kenis M., Makale F., Mugambi I., Murphy S., Nunda W., Phiri N., Pratt C., Tambo J., 2018. Fall armyworm: impacts and implications for Africa. CABI

Ryckewaert P. et Leblay M., 2004. Principes généraux de la lutte intégrée sur cultures maraîchères en Polynésie française. Reconnaissance des ravageurs et des auxiliaires.

Schmutterer H., 1990. Properties and potential of natural pesticides from the neem tree, *azadirachta indica*. Annu. Rev. Entomol. 1990. 35:271-97

Senthil-Nathan S., 2013. Physiological and biochemical effect of neem and other Meliaceae plants secondary metabolites against Lepidopteran insects. Review Article. doi: 10.3389/fphys.2013.00359. 17p

Shannag H. k., Capinera J. L., and Freihat N. M., 2015. Effects of Neem-Based Insecticides on Consumption and Utilization of Food in Larvae of *Spodoptera eridania* (Lepidoptera: Noctuidae). *J. Insect Sci.* (2015)15(1): 152; DOI: 10.1093/jisesa/iev134. 6p.

Shapiro-Ilan D., Hazir S., and Glazer I., 2017. Basic and Applied Research: Entomopathogenic Nematodes. 15 p. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-803527-6.00006-8>

Sharanabasappa C. M., Kalleshwaraswamy J., Poorani M. S., Maruthi H. B., Pavithra and J., and Diraviam, 2019. Natural enemies of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), a recent invasive pest on maize in South India. *Florida Entomologist* Volume 102, No. 2. 619-623.

Sharanabasappa K. C. M., Asokan R., Mahadeva S. H. M., Maruthi M. S., Pavithra H. and B., Hegde K., 2018 a. First report of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J E Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), an alien invasive pest on maize in India. *Pest Manage in Hortic Ecosyst* 24: 23–29.

Sharanabasappa, Kalleshwaraswamy C.M., Maruthi M.S., and Pavithra H. B., 2018b. Biology of invasive fall army worm *Spodoptera frugiperda* (j.e. smith) (lepidoptera: noctuidae) on maize. *Indian Journal of Entomology*, 80 (3): 540-543. DOI No. :10.5958/0974-8172.2018.00238.9.

Shylesha A. N., Jalali S. K., Gupta A., Varshney R., Venkatesan T., Shetty P., Ojha R., Prabhu C. G., Navik O., Subaharan K., Bakthavatsalam N., Chandish R. B., and Raghavendra A., 2018. Studies on new invasive pest *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) and its natural enemies. *Journal of Biological Control*, 32(3): 145-151, DOI: 10.18311/jbc/2018/21707.

Singh A., Kataria R. and Kumar D. 2012. Repellence property of traditional plant leaf extracts against *Aphis gossypii* Glover and *Phenacoccus solenopsis* Tinsley. *Afr. J. Agricul. Res.*, 7 (11): 1623 – 1628.

Sisay B., Simiyu J., Malusi P., Likhayo P., Mendesil E., Elibariki N., Wakgari M., Ayalew G., and Tefera T., 2018. First report of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), natural enemies from Africa. *J Appl Entomol. GmbH*; 142: 800–804.

Smith J. E., and Abbot J., 1797. The natural history of the rarer lepidopterous insects of georgia. V. 2, illus. London.

Souza M. L., Castro M. E. B., Sihler W., Krol E., and Szewczyk B., 2007. Baculoviruses: a safe alternative in pest control? Pest Technology ©2007 Global Science Books. 8p.

Sowjanya K. S., and Varma A., 2015. Biocontrol of Lepidopteran Pests. Use of Soil Microbes and their Metabolites. ISSN 2196-4831

Srikanth J., Geetha N., Singaravelu B., Ramasubramanian T., Mahesh P., Saravanan L., Salin K.P., Chitra N. and Muthukumar M., 2018. First report of occurrence of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* in sugarcane from Tamil Nadu, India. *Journal of Sugarcane Research* (2018) 8 (2): 195 – 202

Starnes R. L., Liu C. L., and Marone P. G., 1993. History, use and future of microbial insecticides. *Am Entomol* 39: 83-89.

Silvain J. F., and TI-A-Hing J., 1985. Prediction of larval infestation in pasture grasses by *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) from estimates of adult abundance. *Florida Entomol.* 68: 686-691.

Tambo J. A., Day R. K., Godwin J. L., Silvestri S., Beseh P. K., Mensah B. O., Phiri N. A. & Matimelo M., 2019: Tackling fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) outbreak in Africa: an analysis of farmers' control actions, *International Journal of Pest Management*, DOI: 10.1080/09670874.2019.1646942. 14p.

Thomazoni, D., Formentini, M.A., and Alves, L.F.A., 2014. Patogenicidade de isolados de fungos entomopatogênicos à *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera : Noctuidae). Arquivos do Instituto Biológico 81, 126-133.

Toé A., 2010. Étude pilote des intoxications dues aux pesticides agricoles au Burkina Faso. Rapport. 94p.

Valicente F. H., and Barreto M. R., 2003. *Bacillus thuringiensis* survey in Brazil: geographical distribution and insecticidal activity against *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). *Neotropical Entomology*; 32(4):639–644.

Van de Vossenberg B. T. L. H, and Van der Straten M. J., 2014. Identification of Four *Spodoptera* Species: *Spodoptera eridania*, *Spodoptera frugiperda*, *Spodoptera littoralis*, and *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae). *JOURNAL OF ECONOMIC ENTOMOLOGY*. Vol. 107, no. 4. 12 p.

Vieira C. M., Tuelher E. S., Valicente F. V., and Wolff J. L. C., 2012. Characterization of a *Spodoptera frugiperda* multiple nucleopolyhedrovirus isolate that does not liquefy the integument of infected larvae. *Journal of Invertebrate Pathology* 111. 189–192.

Vincent C., Goettel M. S., and Lazarovits G. 2007. Biological control, a global perspective. CABI, Oxfordshire.

Wang J. J., Dong H. G., and Yuan L. Z., 2009. Resistance mechanisms of *Spodoptera litura* to indoxacarb. *Acta Phytophysiolog Sin* 36:168–172.

Williamson S., Ball A. and Pretty J., 2008. Trends in pesticide use and drivers for safe pest management in four African countries. *Crop protection*, 2008, 27(10). 1327-1334.

Xu Y-P., Cheng R-L., Xi Y., and Zhang C-X., 2013. Genomic diversity of *Bombyx mori* nucleopolyhedrovirus strains. *Genomics* 102. 63–71.

Yu S. J., 1991. Insecticide resistance in the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith). *Pestic Biochem Physiol* 39: 84–91.

Yu S. J., Nguyen S. N., and Abo-Elgar G. E., 2003. Biochemical characteristics of insecticide resistance in the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith). *Pestic Biochem Physiol* 77: 1–11.

Zenner I., Arévalo H., and Mejía R., 2007. The fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) and some transgenic plants. *Colombian journal of horticultural sciences - Vol. 1-N°1* 103-113.

Zimmermann G., 2007. Review on safety of the entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Beauveria brongniartii*. ISSN : 0958-3157 (Print) 1360-0478. 44p. (Online) Journal homepage: <https://www.tandfonline.com/loi/cbst20>

Weboraphie

http://www.mapnall.com/fr/Carte-g%C3%A9ographique-L%C3%A9o_1135429.html
consulté le 10/08/2020 à 7h 25mn.

<https://www.arbico-organics.com/category/bacillus-thuringiensis-kurstaki-products>

[https://www.fs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/fsbdev7_015300.pdf.](https://www.fs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/fsbdev7_015300.pdf)

<https://www.infosdafrique.com/index.php/en/evenements-culturels/itemlist/tag/Situation%20g%C3%A9ographique%20du%20Burkina%20Faso>
consulté le 25/08/2020 à 4h 37mn.

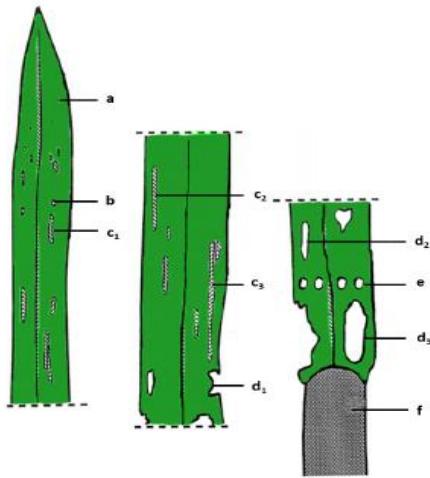
<https://burkina-ntic.net/spip.php?article333>. Consulté le 25/08/20 à 5 h 15 mn

Annexes

Annexe 1 : Indicateurs d'évaluation de la sévérité des attaques de *Spodoptera frugiperda* sur la culture du maïs selon Davis et al. (1992)

Explication/définition des dégâts	Evaluation
Pas de dégâts visibles sur les feuilles	0
Uniquement les dégâts par piqûre sous forme de trous d'épingle	1
Dégâts causés sur les feuilles sous forme de trous d'épingle et de petits trous Circulaires	2
Des trous d'épingle, de petites lésions circulaires et quelques petites lésions allongées (de forme rectangulaire) atteignant 1,3 cm de longueur sont présentes sur les feuilles verticillées et enroulées.	3
Plusieurs lésions allongées de taille petite à moyenne de 1,3 à 2,5 cm sont présentes sur quelques feuilles verticillées et enroulées	4
Plusieurs grandes lésions allongées de plus de 2,5 cm de longueur sont présentes sur quelques feuilles verticillées et enroulées et/ou quelques trous de forme uniforme à irrégulière de petite à moyenne taille (membrane basale consommée) qui sont mangées depuis les feuilles verticillées et/ou enroulées.	5
Plusieurs grandes lésions allongées présentes sur plusieurs feuilles verticillées et enroulées et/ou plusieurs grands trous uniformes de forme irrégulière mangés depuis les feuilles verticillées et enroulées.	6
De nombreuses lésions allongées de toutes tailles sont présentes sur plusieurs feuilles verticillées et enroulées, ainsi que plusieurs grands trous de forme identique ou irrégulière qui sont mangés depuis les feuilles verticillées et enroulées.r	7
De nombreuses lésions allongées de toutes tailles sont présentes sur la plupart des feuilles verticillées et des feuilles enroulées, ainsi que de nombreux trous de forme identique ou irrégulière de taille moyenne à grande, mangés au niveau des feuilles verticillées et enroulées.	8
Les feuilles verticillées et enroulées sont presque totalement détruites.	9

Echelles d'évaluation visuelle des dommages de Spodoptera frugiperda sur le maïs en phase de développement (Davis et al., 1992)



Types de lésions occasionnées par les larves de *S. frugiperda* se nourrissant des feuilles de maïs ; **a** : trou d'épingle ; **b** : petite circulaire ; **c₁** : petit allongé ; **c₂** : moyen allongé ; **c₃** : grand allongé ; **d₁** : petite taille uniforme de forme irrégulière ; **d₂** : taille moyenne uniforme de forme irrégulière ; **d₃** : grande taille uniforme de forme irrégulière ; **e** : trou de tir et **f** : gaine foliaire.

Annexe 2 : Capture d'adulte de *Spodoptera frugiperda*

Commune	Cultures	Latitude	Longitude	Captures semaine 1	Captures Semaine 2
Sabou	Légumes + Maïs	12,14746	-2,04212	0	0
	Riz	12,09845	-2,14227	0	0
	Maïs	12,14672	-2,04257	0	1
Réo	Légumes	12,21869	-2,48993	0	0
	Sorgho	12,37724	-2,52017	1	1
	Maïs	12,28835	-2,42968	1	0
Léo	Riz	11,99905	-1,994852	0	0
	Sorgho	11,09785	-1,999886	0	0
	Maïs	11,09769	-2,000305	1	1

Annexe 3 : Quelques images de pesticides utilisés par les producteurs dans la lutte contre *Spodoptera fruperda* au Centre-Ouest



Annexe 4 : Echelle de notation visuelle la Commission des essais biologiques (CEB) de la Commission Européenne

Note	Phytotoxicité	
0	Nulle	
1	Très faible	Limités aux cotylédons (simples décolorations)
2	Faible	Quelques brûlures sur cotylédons
3	Sensible	Décoloration plus nombreuses (cotylédons + première feuille)
4	Assez forte	Nombreuses décolorations sur feuilles
5	Forte	Très nombreuses décolorations, pas de brûlures
6	Très forte	Quelques feuilles brûlées
7	Très forte	Brûlures plus nombreuses
8	Très forte	Nombreuses feuilles brûlées, desséchées
9	Très forte	Pieds bloqués, ne se développent plus
10	Très forte	Pieds entièrement brûlés, pratiquement détruits

Annexe 5 : Potentiels ennemis naturels de *Spodoptera frugiperda* rencontrés



a : Platygastridae ;

b : Sphecidae ;

c : Tachinidae

d : Vespidea;

e: Reduviidae

f : Vespidea

g: Nabidae

h : Coccinellidae

i : Forficulidae

j: NI

k: NI

Annexe 6 : Quelques clichés monitoring



Annexe 7 : Les principaux pesticides utilisés contre *Spodoptera frugiperda* au Centre-Ouest du Burkina Faso

N°	Nom commercial	Formulation	Matière active	Concentration	Cultures conseillées	Famille chimique des molécules	Classe toxico.	Numéro d'homologation CSP
1	CAIMAN B19	EC	Emamectine Benzoate	19,2g/L	Cotonnier et culture maraîchères	Avermectine	II	0648 H0/In/05-17/HOM-SAHEL
2	EMACOT 019 EC	EC	Emamectine Benzoate	19g/l	Cotonnier	Avermectine	II	0619-H0/In/11-16/HOM-SAHEL
3	CAPT 96 EC	EC	Acetamipridre cypermétrine	+ 96g/L	Cotonnier	Néonicotinoïde pyréthrinoïde	et II	0510-H0/In,Ac/05-17/HOM-SAHEL
4	KAHIRA	SG	Emamectine Benzoate	5%	Cotonnier	Avermectine	II	0831-A0!/In/12-15/APV-SAHEL
5	PACHA	EC	Acetamiprid + Lamda-Cyalothrine	25g/L	Cultures maraîchères et fruitières	Néonicotinoïde Pyréthrinoïde	et II	0549-H0/In/05-16/HOM-SAHEL
6	EMACOT 050 WG	WG	Emamectine Benzoate	50 g/kg	Cotonnier	Avermectine	II	0620-H0/In/05-17/HOM-SAHEL
7	KAPAAS	EC	Emamectine Benzoate + Abamectine+Acetamipridre	80 g/L	Cotonnier	Avermectine Néonicotinoïde	et II	NH
8	COXYTRINE	EC	Cyperméthrine +Profenofos	186g/L	NS	Pyréthrinoïde Organophosphoré	et II	NH
9	LAMBDA SUPER	EC	Lambda Cyalothrine	2,5g/L	Cultures maraîchères	Pyréthrinoïde	II	NH
10	BOMECH	EC	Abamectine	18 g/L	Tomate	Avermectine	II	0719-H0/Ac,In/05-18/APV-Sahel
11	PROTECT	EC						NH
12	TOP LAMBDA	EC	Lambda Cyalothrine	25g/L	Cultures maraîchères et fruitières	Pyréthrinoïde		NH
13	CYPERCAL	EC	Cyperméthrine	50g/L	Tomate	Pyréthrinoïde	III	0216-H1/In/06-15/HOM-SAHEL
14	MONTAZ 45	WS	Imidaclopride + Thiram	45g/Kg	Cotonnier	Néonicotinoïde Dithiocarbamate	et III	0559-H0/In-Fo/11-14/HOM-Sahel
15	PYRICAL 480	EC	Chlorpyrifos-ethyl	480g/L	Poivron et Tomate	Organophosphoré	II	0662-A1/In/11-16/APV-SAHEL
16	LAMDACAL	EC	Lambda-Cyalothrine + Profénofos	636g/L	Cotonnier	Pyréthrinoïdes Organophosphoré	et II	0599-H0/In/05-18/HOM-SAHEL
17	SUN-LAMBDA	EC	-	25g/L	Cultures maraîchères et fruitières		II	NH
18	TRICEL	EC	Chlorpyrifos-ethyl	480	Cultures maraîchères	Organophosphoré	III	NH

EC : concentrée émulsionnable ; WG : wattable granule ; WS : wattable powder ; SG : soluble granule.

NS : Non spécifié ; NH : Non homologué.

Annexe 8 : Les insecticides commercialisés par les distributeurs de pesticides de la zone d'étude

N°	Nom commercial	Formulation	Matière active	Concentration	Culture conseillée	Classe toxicologique	Famille chimique	Numéro d'homologation CSP
1	CAIMAN B19	EC	Emamectine Benzoate	19,2g/L	Cotonnier et culture maraîchères	II	Avermectine	0648 H0/In/05-17/HOM-SAHEL
2	EMACOT 019 EC	EC	Emamectine Benzoate	19g/l	Cotonnier	II	Avermectine	0619-H0/In/11-16/HOM-SAHEL
3	SAVAHALER	WG	Méthomyl	250g/kg	Chou pommé	II	Carbamates	0745-H0/In/11-15/HOM-SAHEL
4	KAHIRA	SG	Emamectine Benzoate	5%	Cotonnier	II	Avermectine	0831-A0!/In/12-15/APV-SAHEL
5	PACHA	EC	Acetamiprid + Lamda-Cyalothrine	25g/L	Cultures maraîchères et fruitières	II	Néonicotinoïde et Pyréthrinoïde	0549-H0/In/05-16/HOM-SAHEL
6	EMACOT 050 WG	WG	Emamectine Benzoate	50 g/kg	Cotonnier	II	Avermectine	0620-H0/In/05-17/HOM-SAHEL
7	KAPAAS	EC	Emamectine Benzoate + Abamectine+Acetamipride	80 g/L	Cotonnier	II	Avermectine et pyréthrinoïde	NH
8	DELTACAL	EC	Deltamétrine	12,5 g/L	Haricot vert	II	Pyréthrinoïdes	0650/H0/In/05-17/HOM-SAHEL
9	LAMBDA SUPER	EC	Lambda Cyalothrine	25g/L	Cultures maraîchères	II	Pyréthrinoïde	NH
10	BOMECK	EC	Abamectine	18 g/L	Tomate	II	Avermectine	0719-H0/Ac,In/05-18/APV-Sahel
11	BENJI		Acétamipride	250g/L	Tomate	II	Néonicotinoïde	1026-A0/In/11-17/APV-SAHEL
12	LAMBDA-M	EC	Lambda Cyalothrine	25g/L	Cultures maraîchères et fruitières		Pyréthrinoïde	NH
13	CYPERCAL	EC	Cyperméthrine	50g/L	Tomate	III	Pyréthrinoïde	0216-H1/In/06-15/HOM-SAHEL
14	VIPER	EC	Acetamipride+Indoxacarbe	46g/L	Tomate	II	Néonicotinoïde et Carbamates	0648-H0/In/05-18/HOM-SAHEL
15	PYRICAL 480	EC	Chlorpyrifos-ethyl	480g/L	Poivron et Tomate	II	Organophosphoré	0662-A1/In/11-16/APV-SAHEL

16	K-OPTIMAL		Lambda Cyalothrine+Acétamipride	35g/L	Chou et cotonnier	II	Pyréthrinoïde et Néonicotinoïde	0586-H0/In/11-15/HOM-SAHEL
17	BELT EXPERT	EC	Flubendiamide+Thiaclopride	480 g/L	Cotonnier	III	Diamide anthranilique et Néonicotinoïde	0898-A1/In/11-19/APV-SAHEL
18	SUN-LAMBDA	EC	Lambda cyalothrine	25g/L	Cultures maraîchères et fruitières	II	Pyréthrinoïde	NH
19	BELLA FTE	EC	Chlorpyrifos-ethyl+Deltaméthrine	424 g/L	Cotonnier	III	Organophosphoré et Pyréthrinoides	0999-A0/In,Ac/11-17/APV-SAHEL
20	THALIS	EC	Acétamipride+Emamectine benzoate	56g/L	Cotonnier	II	Néonicotinoïde et Avermectine	0904-H0/In/11-18/HOM-SAHEL
21	PORSELEN	SG	Emamectine Benzoate	50g/kg			Avermectine	NH
22	POLYTHRINE SUPER	EC	Cypermétrine		Cotonnier	III	Pyréthrinoïde	NH
23	LAMBDA CROWN	EC	Lambda cyalothrine	25g/L	-	-	Pyréthrinoïde	NH
24	Piol	EC	-	-	-	-		NH
25	BIOK-16	WG	<i>Bacillus turingiensis</i>	16000UL/mg	Cultures maraîchères	U		0833-A1/In/05-118/APV-SAHEL
26	Huile de neem	UL	Azadirachtine	-	-	-		-
27	Graine de neem écrasées	-	Azadirachtine	-	-	-		-

Annexe 9 : Fiche d'identification de Spodoptera frugiperda utilisée lors des enquêtes



Annexe 10 : Inventaire des méthodes de gestion de *Spodoptera frugiperda*

.....2020

Il s'agit ici d'échanger avec les chefs de ménages de la zone d'étude sur leur niveau de connaissance du ravageur et les différentes méthodes de gestion utilisées contre ce dernier. L'enquête cherche également à déceler de potentiels méthodes de gestion endogènes utilisées par les enquêtés.

Informations sur l'exploitation

1. Pays

2. Commune

3. Village

4. Nom et Prénom (s)

5. Adresse

6. Age du répondant

7. Sexe

1. Masculin 2. féminin

8. Niveau d'études

1. Non scolarisé 2. Alphabétisé 3. Primaire
 4. Secondaires 5. Supérieur

Vous pouvez cocher plusieurs cases (2 au maximum).

9. Nombre de membres du ménage

10. Nombre d'actifs

11. Superficie totale de l'exploitation

12. Spéculations produites

1. Maïs 2. Sorgho 3. riz 4. mil
 5. Coton 6. Oignon 7. Tomate 8. Chou
 9. Poivre 10. laitue 11. Autres

Vous pouvez cocher plusieurs cases (10 au maximum).

13. Quelle est la superficie totale du maïs que vous produisez ?

14. Si autres, précisez

15. Quels types d'engrais appliquez-vous sur vos cultures ?

1. NPK 2. Urée 3. Fumure organique
 4. Autres

Vous pouvez cocher plusieurs cases.

16. Si autres, précisez

17. De quels matériels agricoles disposez-vous dans votre exploitation ?

1. Charrues
 2. Tracteurs
 3. Pulvérisateur à pression entretenue
 4. Pulvérisateur centrifuge à pile
 5. daba, pioches Autres

Vous pouvez cocher plusieurs cases.

18. Par quel moyen de communication suivez-vous l'actualité ?

1. Radio 2. Télévision 3. Facebook 4. Autres

Vous pouvez cocher plusieurs cases.

Connaissance de *Spodoptera frugiperda*

19. Connaissez-vous *Spodoptera frugiperda* ? (Montrer une photo ou une larve).

1. Oui 2. Non

20. Depuis quand le voyez-vous dans vos champs ?

1. 1ans 2. 2ans 3. 3ans 4. 4ans

21. Laquelle (s) de vos cultures est plus attaquée (s) ?

1. Maïs 2. Sorgho 3. Riz 4. Mil
 5. Coton 6. Oignon 7. Tomate 8. Chou
 9. Poivre 10. laitue 11. Autres

Vous pouvez cocher plusieurs cases (10 au maximum).

22. Les dégâts sont-ils importants ?

1. Oui 2. Non

23. Pensez-vous avoir perdu des récoltes à cause de ravageur ?

1. Oui 2. Non

Mode de Gestion de *Spodoptera Frugiperda*

25. Que faites-vous en cas de présence de *S. frugiperda* dans votre champ ?

1. Je ne fais rien 2. Je traite avec des pesticides
3. autres

Vous pouvez cocher plusieurs cases.

26. Si autres, précisez

27. Si lutte chimique, quels pesticides est utilisé ? (Nom commercial, matières actives, formulation)

La question n'est pertinente que si Xlutte = "Je traite avec des pesticides"

28. Comment obtenez-vous les pesticides ?

1. Achat au marché 2. Soutien Etat
 3. Soutien partenaire 4. Autres

Vous pouvez cocher plusieurs cases.

29. Si autres, précisez

30. A quel moment commencez-vous les traitements ?

1. Dès la levée 2. Quand ya présence de dégâts

Vous pouvez cocher plusieurs cases.

24. Avez-vous déjà reçu une formation/sensibilisation sur *S. frugiperda* ?

1. oui 2. Non

31. Combien d'application faite vous en moyenne par an ?

32. A quelle fréquence appliquez-vous les pesticides ?

1. Deux fois par semaine
 2. Une fois par semaine
 3. Une fois toutes les deux semaines
 4. une fois par mois
 5. une fois par campagne
 6. autres

Vous pouvez cocher plusieurs cases (3 au maximum).

La question n'est pertinente que si Xlutte = "Je traite avec des pesticides"

33. Si autres, précisez

34. Quelle est la dose moyenne des pesticides que vous utilisez ?

35. Comment préparer vous les bouillies ?

36. Les pesticides sont-ils efficaces ?

1. Très efficace 2. Moyennement efficace
 3. Peu efficace 4. Pas du tout efficace

La question n'est pertinente que si Xlutte = "Je traite avec des pesticides"

37. Lesquels sont-ils les plus efficaces ?

38. Que pensez-vous de l'utilisation des pesticides dans la lutte contre *S. frugiperda* ?

39. Savez-vous qu'il existe des ennemis naturels qui consomment les larves de *S. frugiperda* ?

1. OUI 2. Non

40. Si oui citez-nous quelques-uns

41. Etes-vous conscient des dangers liés à l'utilisation des pesticides ?

1. Oui 2. Non

42. Avez-vous déjà victime d'une intoxication ?

1. Oui 2. Non

43. Si oui, expliquez-nous les symptômes de cette intoxication

44. Accepteriez-vous utiliser d'autres moyens de luttes ?

1. Oui 2. Non

Annexe 11 : Fiche d'enquête distributeurs de pesticides

Mai-Juin 2020 - GEMBLOUX AGRO BIO TECH

Cette enquête vise à renseigner sur les types de pesticides (insecticides) disponibles auprès des distributeurs agréés et utilisés par les producteurs dans la lutte contre *S. frugiperda*.

Identification du distributeur

6. Nom et Prénom

3. Niveau d'instruction

1. Non Scolarisé 2. Alphabétisé 3. Primaire
 4. Secondaire 5. Supérieur

Vous pouvez cocher plusieurs cases (2 au maximum).

7. Adresse

13. Depuis exercez-vous
dans ce métier ?

Types de pesticides vendus

Identifier les pesticides vendus par le distributeur avec un accent particulier sur les insecticides.

5. Quels types de pesticides vendez-vous?

1. Herbicides 2. Insecticides 3. Fongicides
 4. Nématicides 5. Rodenticides 6. Autres

Vous pouvez cocher plusieurs cases.

15. Quels sont les types d'insecticides que vous commercialisez ? (Noter nom commercial, matière active, formulation)

18. Arrivez-vous à satisfaire la demande des clients ? 1. Oui 2. Non

19. Si non, pourquoi ?

7. Comment vous procurez vous les pesticides ?

La question n'est pertinente que si xsatisfaction = "Non"

8. Quels sont les insecticides les plus vendus ?

Connaissance de *Spodoptera frugiperda*

Savoir si les commerçants connaissent le ravageur et font des recommandations aux producteurs sur les types d'insecticides à utiliser

20. Connaissez-vous *S. frugiperda* ?

1. Oui 2. Non

24. Quels insecticides recommandez-vous aux producteurs qui viennent à vous ?

Distribution de bios pesticides

Savoir si les distributeurs connaissent ou vendent des bio pesticides et avoir leur avis sur les bio pesticides

25. Connaissez-vous les bios pesticides ? 1.

Oui 2. Non

26. Si oui, les vendez-vous ?

1. Oui 2. Non

La question n'est pertinente que si xbiopesticides = "Oui"

15. Lesquels vendez-vous ?

La question n'est pertinente que si xoui = "Oui"

26. Si non, seriez-vous prêts à tenter l'expérience ?

1. Oui, Non

La question n'est pertinente que si xbiopesticides = "Non"