

# African Journal of Tropical Entomology Research

ISSN : 2791-0113 (Online)

Journal homepage: [www.ajter.com](http://www.ajter.com), Lenaf homepage: [www.lenaf-ifa.org](http://www.lenaf-ifa.org)

Research article

OPEN ACCESS



## Bioefficacité des extraits aqueux des grains de Neem, *Azadirachta indica* A. Juss contre la chenille légionnaire d'automne *Spodoptera frugiperda* J. E Smith

ⓈSouleymane Laminou<sup>1,2</sup>, ⓈZakari Moussa Ousmane<sup>3\*</sup>, ⓈLaouali Amadou<sup>2</sup>, ⓈHamissou Zangui<sup>3</sup>, ⓈNassirou Oumarou<sup>2</sup>, ⓈAmadou Roufa'i Yar ifou<sup>1</sup> & Baoua Boukari Ibrahim<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Université Dan Dicko Dankoulodo de Maradi, Faculté d'Agronomie et des Sciences de l'Environnement, Niger.

<sup>2</sup>Centre Régional de la Recherche Agronomique de Maradi, Laboratoire d'Entomologie, Niger.

<sup>3</sup>Université Abdou Moumouni de Niamey, Faculté d'Agronomie, Niger.

\*Corresponding author, E-mail: [o.zakari@gmail.com](mailto:o.zakari@gmail.com)

Copyright © 2022 Laminou et al. | Published by LENAF/ IFA-Yangambi | [License CC BY-NC-4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



Received: 25 Oct 2022

Accepted: 10 Dec 2022

Published : 29 Dec 2022

### RESUMÉ

La chenille légionnaire d'automne (CLA), *Spodoptera frugiperda* J. E Smith, constitue une contrainte majeure à la production du maïs où elle occasionne la perte de la quasi-totalité de la récolte. Cette situation contraint, les producteurs à recourir massivement aux pesticides de synthèse malgré leurs toxicités sur l'homme et son environnement. Il est apparu urgent de trouver une alternative à cette lutte chimique d'où la conduite en saison de l'hivernage 2021 et saison sèche froide 2022 d'une étude sur l'efficacité biologique des extraits aqueux de grains de Neem sur les larves de la CLA. Les essais ont été installés dans 3 localités en saison pluviale de 2021 et en irrigué en 2022. Le dispositif expérimental est un bloc de Fischer avec quatre traitements en trois (3) blocs. Les traitements sont constitués des extraits aqueux de grains de Neem (T1), de Emacot 050 WG (Emamectine benzoate 50 g/kg, T2), d'extraits aqueux de grains associés à Emacot 050 WG (T3) et le témoin (T0). Il ressort de cette étude que les extraits aqueux ont contribué à réduire les infestations de la CLA de -11,2% et -33% respectivement en irrigué et en saison pluviale. Le niveau de sévérité en saison pluviale est plus bas qu'en irrigué comparé à celle traitée à l'Emacot. Les traitements à base d'Emacot et d'Azadirachtine ont donné un rendement 1,3 à 1,8 fois plus important que celui du témoin. Les résultats obtenus constituent une alternative à la lutte chimique et une composante d'une stratégie de gestion durable.

**Mots-clés :** maïs, dégâts, Emamectine benzoate, Niger.

### ABSTRACT

#### Bioefficacy of aqueous extracts of Neem seeds, *Azadirachta indica* A. Juss against the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* J. E Smith

The Fall Armyworm (FAW), *Spodoptera frugiperda* J. E Smith, is a major constraint to maize production, causing the loss of almost the entire crop. This situation forces producers to make massive use of synthetic pesticides despite their toxicity to humans and their environment. It seemed urgent to find an alternative to this chemical fight, hence the conduct in the winter season of 2021 and the cold dry season of 2022 of a study on the biological effectiveness of aqueous extracts of Neem seeds on FAW larvae. The trials were installed in 3 localities in the rainy season of 2021 and irrigated in 2022. The experimental device is a Fischer block with four treatments in three (3) blocks. The treatments consist of aqueous extracts of Neem grains (T1), Emacot 050 WG (Emamectin benzoate 50 g/kg, T2), aqueous extracts of grains associated with Emacot 050 WG (T3) and the control (T0). It emerges from this study that aqueous extracts contributed to reduce CLA infestations by -11.2% and -33% respectively in irrigated and rainy season. The severity level in rainy season is lower than in irrigated compared to that treated with Emacot. Treatments based on Emacot and Azadirachtin gave a yield 1.3 to 1.8 times higher than that of the control. The results obtained constitute an alternative to chemical control and a component of a sustainable management strategy.

and the control (T0). It appears from this study that the aqueous extracts contributed to reduce FAW infestations by -11.2% and -33% respectively in irrigated and rainy season. The level of severity in the rainy season is lower than in irrigated compared to that treated with Emacot. The Emacot and Azadirachtin treatments gave a yield 1.3 to 1.8 times greater than that of the control. The results obtained constitute an alternative to chemical control and a component of a sustainable management strategy.

**Key words:** maize, damage, Emamectin benzoate, Niger.

## INTRODUCTION

La Chenille Légionnaire d'Automne, *Spodoptera frugiperda* (J. E Smith) appartient à l'Ordre des Lépidoptères et à la famille de Noctuidae (Cock et al., 2017; Cokola, 2019). Ravageur d'origine des Amériques avec une forte capacité de migration, il peut parcourir une distance pouvant varier de 100 km (Cokola, 2019) jusqu'à 1600 km de vol en une nuit quand les conditions sont favorables (Germain et al., 2017; Prasanna et al., 2018). Cette capacité de migration a favorisé la dispersion du ravageur sur tous les continents du monde en si peu de temps (Cokola et al., 2021). C'est un ravageur vorace et très polyphage se nourrissant de plus de 100 cultures différentes, y compris maïs, riz, sorgho, mil, canne à sucre, tomate, pomme de terre, coton et autres (Montezano et al., 2018).

Le ravageur a fait sa première apparition en Afrique de l'Ouest en 2016 et est présent dans presque tous les pays du continent Africain (Kassie et al., 2020). Plusieurs facteurs dont la disponibilité des plantes hôtes et certaines conditions environnementales améliorent l'abondance et la persistance du ravageur, ce qui menace la production de plusieurs cultures clés qui font vivre des millions des agriculteurs en Afrique (Abrahams et al., 2017; FAO, 2018a).

La littérature des différentes régions du globe a prouvé que ce ravageur est le plus destructeur pour les cultures tropicales et subtropicales (Montezano et al., 2018). Il attaque tous les stades de croissance du maïs et toutes les structures végétales aériennes (Ahissou et al., 2021) en causant des dommages foliaires entraînant des pertes de rendement très important en l'absence de mesures de contrôle (Hruska, 2019; Tshiabukole et al., 2021). Les dégâts de la CLA se caractérisent par la perte de la zone photosynthétique, provoquant la verse des pieds du maïs, le retard de la croissance, altération des graines fraîches, destruction du verticille, de la panicule et des oreilles (Chimweta et al., 2020).

Selon Aniwano et al. (2021) la chenille légionnaire d'automne a ravagé plus de 38 000 ha de production de maïs dans le Nord du Bénin en 2016. Les chenilles qui attaquent le maïs au milieu et à la fin de sa croissance peuvent entraîner des pertes de rendement allant de 15 à 73 %, avec une fourchette du

nombre de plantes affectées de 55 à 100 %. Les pertes signalées varient en fonction de l'âge du maïs affecté, de la variété et des techniques de culture utilisées (Assefa & Ayalew, 2019).

En Afrique, les pertes de récoltes causés par *Spodoptera frugiperda* s'élèvent à environ 16 milliards de dollars (Harrison et al., 2019). Face à ces nombreux dégâts, les producteurs font recours à l'usage intensif des pesticides chimiques pour le contrôle du ravageur dans plusieurs pays, conduisant ainsi à l'acquisition de résistances par la CLA (Ndiaye et al., 2022; Yu et al., 2003; Zhao et al., 2019). Cependant, l'utilisation aveugle d'insecticides chimiques est souvent associée à des effets, tels que l'élimination des ennemis naturels et la présence de résidus dans les aliments, l'eau, l'air et le sol, qui peuvent affecter la santé humaine et perturber l'écosystème (Aniwano et al., 2021; Devine & Furlong, 2007). Cela souligne la nécessité de développer des stratégies de lutte intégrée contre le ravageur qui répondent aux besoins des petits exploitants agricoles africains. Et notamment une grande attention sera accordée à la promotion des méthodes de lutte alternatives plus efficaces et respectueuses de l'environnement (Ndayiragije, 2019; Ndiaye et al., 2022). Les extraits aqueux des végétaux sont respectueux de l'environnement et de l'écosystème (Regnault-Roger & Philogène, 2008).

La présente étude a pour objectif de contribuer à l'amélioration de la productivité du maïs à travers la gestion des populations de *Spodoptera frugiperda* par des méthodes alternatives à la lutte chimique. Il s'agira plus précisément d'évaluer l'efficacité biologique des extraits aqueux de grains de Neem sur les chenilles légionnaires d'automne.

## MATERIEL ET METHODES

### Zone d'étude

L'étude a été conduite en saison d'hivernage de l'année 2021 en milieu paysan dans le village de Kabobi, Angoul Mata et Dama dans la région de Maradi et en saison sèche-froide de l'année 2022 dans le village de Jampali (région de Maradi), Mirriah et Doungou (région de Zinder) (Fig.1.).

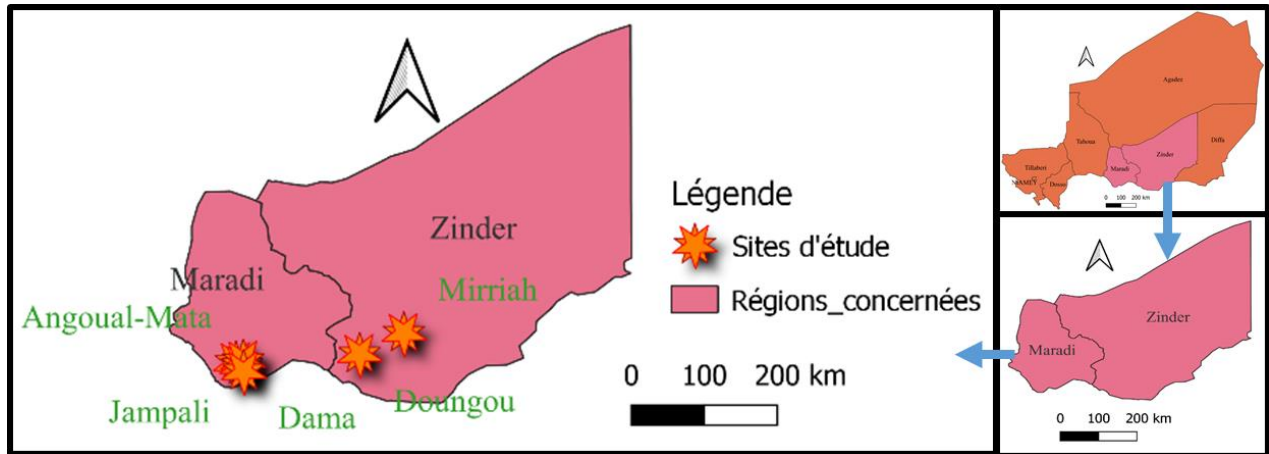


Fig. 1. Carte de localisation des zones d'étude

Les essais ont été installés sur des sites irrigables situés dans la bande agricole sud du Niger avec une pluviométrie annuelle fluctuante entre 400 à 800 mm (MAE, 2021). Ces zones sont caractérisées par un climat de type sahélien et les sols sont à dominance ferrugineux tropicaux peu évolués. La production du maïs se fait au Niger dans les bassins hydrographiques et aux alentours des oueds (JAICAF, 2009; MAE, 2021).

### Matériel végétal

Le matériel végétal est constitué de la variété de maïs P3 Kolo préconisée par les producteurs de la zone de l'étude. Le choix de la variété a été guidé par les producteurs. C'est une variété dont la hauteur varie de 150 à 190 cm avec un cycle de 85 - 95 jours des graines de couleur jaune et un rendement potentiel de 2,5 à 4 t/ha (MA, 2012).

### Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est un bloc de Fischer avec quatre traitements en trois (3) blocs. Dans le cadre de cette étude chaque site ou village représente un bloc donc une répétition. Ainsi, en saison d'hivernage le village de Kabobi, Angoul Mata et Dama ont été concernés et le village de Jampali, Doungou et Mirriah en saison sèche-froide. La superficie par parcelle élémentaire était de 100m<sup>2</sup> soit 10m x 10m chacune. L'écartement est de 0,8 m entre les lignes et 0,4 m entre les poquets. La parcelle comporte 13 lignes de 26 poquets soit une densité de 338 poquets /parcelle. Les traitements sont : Extraits aqueux de grains de Neem (T1), pesticide de synthèse Emacot 050 WG (Emamectine benzoate 50 g/kg, T2), Extraits aqueux de grains de Neem associé à Emacot 050 WG (T3) et le témoin (T0).

### Echantillonnage des poquets d'observations

Il a été choisi au hasard 15 poquets d'observation sur chaque parcelle. La méthode de choix est basée sur le schéma en « N » ou « Z » (Fig 2).

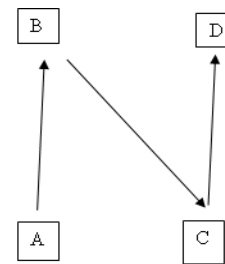


Fig. 2. Schéma de l'échantillonnage en « N »

En effet du point A à B, 5 poquets consécutifs sont matérialisés à l'aide d'une étiquette, cela y va aussi du point B à C et de C à D. Il est à noter que tous les poquets extrêmes de la parcelle sont épargnés, ils étaient considérés comme des effets de bordure.

### Entretien culturel

**Désherbage :** Il a été effectué quatre (4) sarclages par les producteurs pilotes en fonction du développement des adventices.

**Fertilisation :** Trois (3) apports en engrais minéral ont été effectués par la technique de micro-dose en raison de 3,5g/poquet soit 100 kg/ha. Le premier apport (NPK 15-15-15) a été effectué au stade tallage (2 semaines après germination), le deuxième apport (Urée) au stade levé avancée (3 semaines après germination) et le troisième (NPK 15-15-15) au stade floraison.

**Traitements phytosanitaires :** Durant le cycle de croissance du maïs, trois (3) traitements

phytosanitaires ont été effectués. Le premier lorsque le taux d'infestation par la CLA avait atteint 10% et les autres tous les 7 jours. Les extraits aqueux des grains de Neem ont été appliqués à la dose de 200g de poudre de grains de Neem mélangé dans 4 litres d'eau sur les parcelles de 100 m<sup>2</sup> (20 Kg /ha), et l'Emacot à la dose de 2,5g mélangée dans 4 litres d'eau sur 100 m<sup>2</sup> (250g/ha), à l'aide d'un pulvérisateur à pression entretenue. Pour les parcelles concernées par le traitement T3, elles ont d'abord reçu une application d'Emacot 050 WG et ensuite deux applications d'extraits aqueux de grain de Neem à une fréquence de 7 jours.

### Collecte des données

Les observations hebdomadaires ont été faites sur les 15 poquets sélectionnés au niveau de chaque parcelle. Les paramètres suivants ont été notés :

- ✓ Le nombre des plants infestés par la CLA ;
- ✓ Le niveau du dommage foliaire : Les dégâts causés par la CLA sur les feuilles de maïs se présentent par des trous ou perforation. Ces derniers sont mesurés à l'aide d'une échelle/Score d'évaluation de dommage foliaire de Davis et al. (1992) ;
- ✓ Le nombre des épis infestés sur les poquets d'observations.

Après le séchage, les dégâts du ravageur ont été évalués sur les épis. La proportion des épis attaqués a été estimée sur 30 épis choisis au hasard au niveau de chaque parcelle. Ensuite, il a été mesuré par parcelle, le poids et la longueur des galeries sur 15 épis attaqués et 15 épis sains. Le rendement a été estimé sur l'ensemble de la parcelle.

### Traitement des données

#### Calcul des différents paramètres

**Taux d'infestation des épis** : c'est la proportion des épis attaqués par rapport au total épis observés

$$T = (n/N) \times 100 ;$$

Avec T= taux d'infestation, n= Nombre d'épis attaqués ; N= Nombre total épis observés.

**Taux de perte en poids entre les épis sains et attaqués (Tp)** :

$$T_p = 100 - ((h \times 100) / H) ;$$

Avec h= poids épis attaqués ; H= poids épis sains.

**Rendement** : Il a été calculé à l'aide de la formule suivante :

$$R = (r \times 10000 \text{m}^2 / 100 \text{m}^2)$$

Avec : R= rendement en kg/ha et r= production sur la parcelle de 100m<sup>2</sup>

Taux d'augmentation du niveau des infestations : ce taux a été calculé à l'aide de la formule ci-dessous :

$$T = (K - T) \times 100$$

Avec K= Taux du niveau des infestations après traitement phytosanitaire et T= Taux des infestations avant traitement phytosanitaire.

L'analyse de la variance (ANOVA) sur les taux des pertes en poids entre épi attaqué et non attaqué et au niveau du taux des épis infestés par la CLA ont été calculées sur la transformation ASIN. La transformation a été faite à l'aide de la formule ci-dessous :

$$T_r = \text{ASIN} \sqrt{\text{Proportion}}$$

La proportion a été obtenu en faisant le taux divisé par 100 (Taux/100).

### Analyse statistique des données

Toutes les données collectées ont été saisies et nettoyées sur le tableur Excel. L'analyse des données a été faite à l'aide de logiciel SPSS (version 20). Les paramètres suivants ont été déterminés : moyennes, écarts types et fréquences. Une analyse ANOVA à un facteur au seuil de 5% a été appliquée aux données quantitatives. Un test de Khi-deux a été effectué pour comparer les proportions.

## RESULTATS

### Infestations des plants du maïs

#### Niveau d'infestation avant et après traitement phytosanitaire

L'analyse de variance réalisée sur le niveau d'infestation de la CLA sur le maïs ne révèle aucune différence significative entre les parcelles avant traitement phytosanitaire pour la campagne irriguée 2022, alors que des différences significatives ont été enregistrées entre les parcelles avant traitement phytosanitaire pour la campagne de l'hivernage 2021 (Tableau 1). L'application de l'Emacot a révélé une

baisse des infestations de 43% et celle des extraits aqueux de grains de Neem, 33%.

### Sévérité des attaques des plants

La sévérité des attaques de la CLA a été différente selon les traitements en 2021 ( $F= 6,52$  ;  $P<0,001$ ) et 2022 ( $F= 48,8$  ;  $P< 0,001$ ). En saison de l'hivernage,

la sévérité a été plus importante au niveau des parcelles témoins par rapport aux autres traitements qui se sont montrées identiques (Tableau 2). En saison sèche aussi, les parcelles témoins étaient les plus sévèrement attaquées par rapport au trois (3) autres traitements. La sévérité a été la plus faible avec le traitement Neem (Tableau 2).

**Tableau 1.** Niveau des infestations des plants par campagne

Traitements	Saison hivernage 2021			Saison sèche 2022		
	Avant traitement	Après traitement	T. A	Avant traitement	Après traitement	T. A
EMACOT	47	26,7	-43 %	55,0	53,3	-3,1%
NEEM	43,3	29	-33 %	50,0	44,4	-11,2%
NEEM+EMACOT	47,65	44,4	-6,23 %	68,3	69	1%
TEMOIN	41,65	66,7	60,2 %	61,7	87	41%
Khi-Deux	*	***		ns	***	

T.A : Taux d'augmentation ; \* : significatif à 10% ; \*\*\* : significatif à 1% ; ns : non significatif.

**Tableau 2.** Niveau de sévérité des attaques

Traitement	Campagne hivernage 2021	Saison sèche 2022
EMACOT	3,16 ± 1,3 a	3 ± 1,6 b
NEEM	3,18 ± 1,8 a	2,5 ± 1,6 a
NEEM+EMACOT	2,73 ± 1,1 a	4 ± 1,8 b
TEMOIN	4 ± 1,2 b	5 ± 2 c
ANOVA	$F= 6,52$ ; $P<0,001$	$F= 48,8$ ; $P< 0,001$

Les moyennes suivies de la même lettre sur la même colonne ne sont pas statistiquement différentes

### Infestations des épis

#### Taux des infestations des épis

En saison de l'hivernage, l'infestation des épis a été plus sévère sur les parcelles témoins comparativement à celles traitées. En saison sèche, le pesticide de synthèse a obtenu le taux d'infestation le plus faible ( $30 \pm 0,23\%$ ) suivi du traitement Neem+ Pesticide de synthèse ( $36\% \pm 1$ ). Le témoin a affiché le taux des infestations le plus élevé avec  $68\% \pm 15$  ( $F= 392,33$  ;  $P< 0,001$ ) (Tableau 3). The predominant subterranean termites in Toru-Orua, and their relative abundance

are as presented in Table 2. The Simpson's index of diversity (0.40) revealed a moderate species diversity.

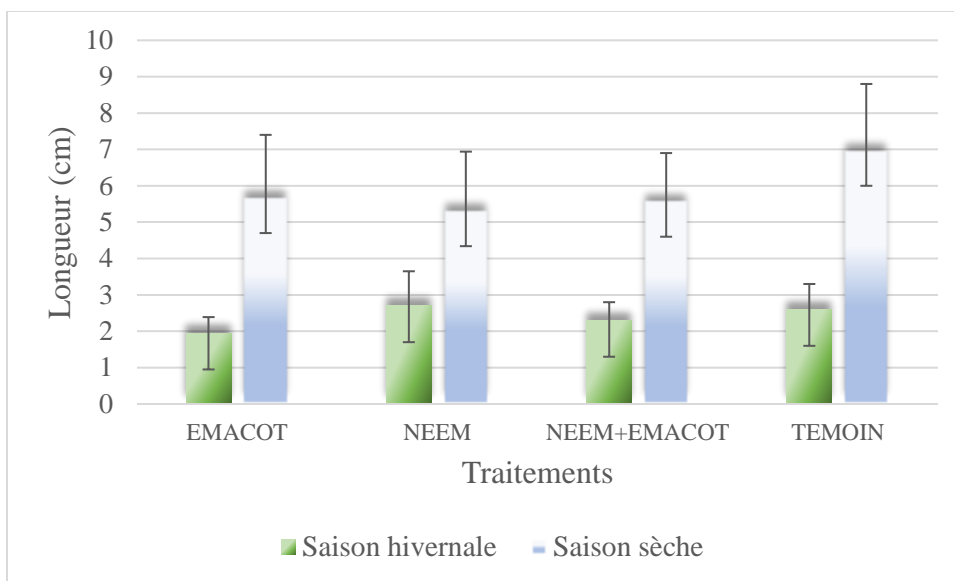
#### Longueur des mines

En saison de l'hivernage la longueur a été de 1,95 à 2,7 cm respectivement pour l'Emamectine benzoate et les extraits aqueux de grains de Neem avec une différence très hautement significative ( $F= 7,25$  ;  $P< 0,001$ ) (Fig. 3). Tandis qu'en irrigué (saison sèche), les traitements ont été comparables entre eux et inférieur au témoin ( $F= 8,52$  ;  $P< 0,001$ ) (Fig. 3).

**Tableau 3.** Niveau des infestations sur les épis

Traitement	Saison hivernage	Saison sèche
Emacot	49,5 ± 0,7 a	29,87 ± 0,23 a
NEEM	52,2 ± 1,6 a	45 ± 1,1 c
NEEM+EMACOT	49 ± 1,4 a	36 ± 1 b
TEMOIN	58,25 ± 2,5 b	67,8 ± 2,3 d
ANOVA	ddl= 3/8 ; $F= 12,72$ ; $P= 0,017$	ddl= 3/8 ; $F= 392,33$ ; $P< 0,001$

*Les moyennes suivies de la même lettre sur la même colonne ne sont pas statistiquement différentes*



**Fig. 3.** Longueur des mines

**Niveau de pertes en poids des épis**

En saison de l’hivernage, le niveau des pertes en rendement a varié entre  $21,2 \pm 11,7$  et  $31 \pm 10,6\%$  respectivement pour l’Emamectine benzoate et les extraits aqueux des grains de Neem. Le taux des pertes induit par l’extrait Les traitements phytosanitaires ont

été comparables entre eux mais différent avec le témoin ( $F= 18,03$  ;  $P< 0,001$ ) en saison de l’hivernage (Tableau 4). Tandis qu’en saison sèche, seul le traitement à l’Emacot a fourni un taux des pertes faibles de  $16,6 \pm 15\%$  ( $F= 291,67$  ;  $P< 0,001$ ). Les autres traitements ont été similaires avec le témoin ( $31,2 \pm 9,3 \%$ ).

**Tableau 4.** Synthèse des résultats sur la caractérisation des épis par traitement

Traitement	Saison de l’hivernage			Saison sèche		
	Poids épis attaqués (g)	Poids épis sains (g)	Taux perte en poids (%)	Poids épis attaqués (g)	Poids épis sains (g)	Taux perte en poids (%)
EMACOT	$34 \pm 4,6b$	$43,2 \pm 4,4b$	$21,4 \pm 7,7a$	$54,9 \pm 16,5a$	$67,7 \pm 19,8a$	$16,6 \pm 15a$
NEEM	$29,7 \pm 7a$	$43 \pm 6b$	$31 \pm 10,6b$	$57,2 \pm 15,5a$	$78,2 \pm 9b$	$31,8 \pm 12b$
NEEM+EMACO	$28 \pm 4,2a$	$35,7 \pm 4,3a$	$21,2 \pm 11,7a$	$67,7 \pm 11,7b$	$85,3 \pm 14c$	$30,5 \pm 11b$
T						
TEMOIN	$30 \pm 5a$	$40,7 \pm 7,5b$	$25,4 \pm 11,5b$	$50 \pm 12,7a$	$68,5 \pm 13,8a$	$31,2 \pm 9,3b$
ANOVA	ddl= 3/176 F= 7,07 P< 0,001	ddl= 3/176 F= 11,12 P< 0,001	ddl= 3/176 F= 18,03 P< 0,001	ddl= 3/176 F= 11,6 P< 0,001	ddl= 3/176 F= 13,7 P< 0,001	ddl= 3/176 F= 291,67 P< 0,001

*Les moyennes suivies de la même lettre sur la même colonne ne sont pas statistiquement différentes*

**Rendement net**

Les différents traitements effectués en saison hivernage, ont permis d’obtenir des rendements

variant de 342,5 à 633,7 kg/ha. Le rendement le plus élevé a été obtenu avec l’application de l’Emacot (633,7 kg/ha) et le plus faible au niveau du témoin (342,5 kg/ha). En saison sèche le rendement a varié de 879 à 1638 kg/ha. Il est plus élevé

comparativement à celui de la saison de l'hivernage. En saison sèche le rendement le plus élevé a été

également obtenu avec l'Emacot ( $1638 \pm 233$  kg/ha) et le plus faible avec le témoin ( $879 \pm 12$  kg/ha)

**Tableau 5.** Rendement obtenu par traitement

Traitement	Rendement saison hivernage (kg/ha)	Rendement saison sèche (kg/ha)
EMACOT	$633,7 \pm 16$ c	$1638 \pm 233$ c
NEEM	$476 \pm 19,8$ b	$1145 \pm 38$ b
NEEM+EMACOT	$476,25 \pm 33,6$ b	$1377 \pm 119$ b
TEMOIN	$342,5 \pm 10,6$ a	$879 \pm 12$ a
Moyenne	$482,12 \pm 111,5$	$1237 \pm 345$
ANOVA	ddl= 3/8 ; F= 60,2 ; P= 0,001	ddl= 3/8 ; F= 22,08 ; P< 0,001

*Les moyennes suivies de la même lettre sur la même colonne ne sont pas statistiquement différentes*

## DISCUSSION

Les grains de Neem sont des redoutables insecticides naturels inoffensif pour la santé de l'homme, des animaux mais offensif pour les maladies fongiques et les insectes (Bidiga, 2014). Le principe actif du Neem agit sur les insectes par inhalation pour soit: i) empêcher à l'insecte de s'alimenter ou ii) créer des troubles physiologiques chez l'insecte qui finit par mourir après ingestion (Bidiga, 2014; Ch., 2013).

Les extraits aqueux des grains de Neem sont des biopesticides dont l'usage est autorisé sur les insectes ravageurs en particulier la chenille légionnaire d'Automne dans beaucoup des pays Africains (Bateman et al., 2018).

Le pesticide de synthèse, Emamectine benzoate (Emacot), contrôle les ravageurs lépidoptères en agissant comme un gamma-aminobutyrique acide (GABA) et un chlorure glutamate-dépendant agoniste des canaux des membranes neuroniques des insectes (Batiha et al., 2020). Ces ingrédients actifs synthétiques agissent et causent la mortalité des chenilles en si peu de temps (Nboyine et al., 2022). L'Emamectine benzoate figure parmi les pesticides de synthèse les plus efficace dans la gestion de la chenille légionnaire d'automne (Kouanda, 2020).

Les différentes propriétés de l'Emacot (Emamectine benzoate) utilisées dans la présente étude expliquent la baisse du niveau des infestations obtenues en saison de l'hivernage comme en irrigué. Ces résultats corroborent avec ceux d'autres auteurs qui ont expérimenté et comparé les effets du Neem et des produits de synthèse en particulier à base d'Emamectine benzoate (Nboyine et al., 2022; Phambala et al., 2020). Cependant, Siazemo & Simfukwe (2020) ont montré que le traitement au Neem avait le rendement de maïs plus élevé que le pesticide de synthèse (Cyperméthrine). Sane et al. (2018) ont aussi obtenu une baisse plus significative de la population des insectes ravageurs du cotonnier

avec l'Azadirachtine (à 10 g/l) que le pesticide de synthèse (Profénofos).

Il est à noter qu'en saison de l'hivernage, le pesticide de synthèse a été plus efficace suivi du Neem dans la réduction des infestations sur les plants. Cependant, il a été obtenu une tendance contraire en saison sèche (irriguée). Autrement dit, les extraits aqueux de grains de Neem paraissent plus efficaces en saison sèche qu'en hivernage. Ce résultat peut être expliqué par la durée des grains qui n'atteignent pas le plus souvent 3 mois en hivernage, car les grains doivent être âgées de 3 mois au minimum et de 10 mois au maximum pour une efficacité optimale dans la lutte contre les insectes des cultures (Gabriel & Conseiller, 2002). Les taux des infestations au niveau de tous les traitements ont été plus élevés en irriguée qu'en hivernage. En saison sèche au niveau des sites de l'étude, très peu des producteurs produisent le maïs qu'en hivernage où un grand nombre de ces producteurs font le maïs. Etant donné que la CLA malgré sa polyphagie, présente une nette affinité pour le maïs (Fontaine et al., 2018; Prasanna et al., 2018; Wan et al., 2021). Cela a permis une bonne concentration de la chenille sur peu des parcelles de maïs disponibles sur le site. C'est ce qui peut expliquer en partie la forte pression des infestations en irrigué.

Les extraits aqueux de grains de Neem ont été moins efficaces par rapport au pesticide de synthèse Emacot et la combinaison Neem + Emacot en irrigué. Trois (3) raisons peuvent expliquer cet état des faits : i) le stade de la chenille, il a été observé au cours de la collecte les chenilles âgées de stade L4 à L6 sur les épis. Les plus grosses chenilles sont difficiles à être gérer (Kakimoto et al., 2003; Looli et al., 2021; Sigsgaard et al., 2002). Selon Bateman et al. (2018), la gestion de ces chenilles nécessite un produit systémique de synthèse. Donc la biologie, le comportement des chenilles et le type d'action et du fonctionnement d'un biopesticide potentiel sont à prendre en compte pour réussir le traitement. ii) L'Azadirachtine du Neem agit par contact ou par

ingestion de la partie traitée et provoque chez l'insecte des effets anti-appétant, des effets stérilisants et agit comme un régulateur de croissance (Aribi et al., 2020; Chaudhary et al., 2017; FAO, 2018b; Gabriel & Conseiller, 2002; Looli et al., 2021; Morgan, 2009; Nouari, 2014; Rym et Meghezi, 2016). Ce qui fera en sorte que les chenilles peuvent se cacher aisément à l'intérieur de l'épi ou entre les spaths pour se protéger du produit Neem. iii) la période d'exposition des chenilles de l'épi relativement courte. D'après Marsaro et al. (2006) et Mewis & Ulrichs (2001) pour une mortalité plus élevée, les chenilles doivent être exposé pendant une longue période aux effets du Neem surtout si les doses utilisés sont faibles (Ch., 2013; Constanski et al., 2016). Looli et al. (2021) affirment que le mode d'action de certains produits biologiques diminue graduellement en efficace avec le développement de la chenille.

Les analyses statistiques ont fourni les mêmes résultats en hivernage et en irrigué. Ces résultats montrent l'efficacité du traitement chimique ; ce traitement est suivi des extraits aqueux de grains de Neem. Le rendement en grain était significativement affecté par les traitements et cette variable étant la plus faible chez le témoin non traité en irrigué comme en hivernage. Les rendements étaient au moins 1,3 fois plus élevés dans les parcelles traitées que dans les non-traitées. Nboyine et al. (2022) ont obtenu aussi le rendement le plus élevé avec la matière active Emamectine benzoate suivi aussi du traitement Neem au Ghana. L'efficacité générale des insecticides de synthèse notamment à base benzoate d'Emamectine, de l'acétamipride testés corrobore les résultats des études antérieures réalisées par Babendreier et al. (2020); Nboyine et al. (2022); Sisay et al. (2019); Yahaya (2021).

Cependant, si l'application des pesticides de synthèse peut réduire les populations des ravageurs des cultures, elle est loin d'être écologiquement et socialement saine, et s'effectue à grand frais (Kumela et al., 2019). Aussi, ces produits sont à l'origine de plusieurs cas d'intoxication et font selon les estimations de l'ONU, environ 11 000 décès de 385 millions de cas annuels d'intoxication accidentelle non mortelle (ONU, 2022). La différence de rendement du maïs entre les parcelles traitées aux extraits aqueux de grains de Neem et le pesticide de synthèse est de 157,7 kg/ha en hivernage et 493 kg/ha en irrigué. Cette différence est certes importante, mais, en évaluant le cout des pesticides et les conséquences à la longue des résidus des pesticides, le Neem serait une alternative contre l'usage des pesticides de synthèse. L'un des avantages des biopesticides, c'est qu'ils retardent le développement de la résistance. Leur principal inconvénient est qu'ils nécessitent des applications fréquentes pour atteindre les effets maximum (Forim et al., 2010; Schmutterer, 1990). D'après Gbaguidi & Adégbidi, (2008), les producteurs rencontrent des contraintes dans l'usage des extraits aqueux de grains de Neem comme la non disponibilité sur le marché de formulation directement utilisable à l'instar des

pesticides de synthèses, la pénibilité liée à la collecte et la transformation des feuilles ou des grains de Neem en farine et le manque de valeur ajoutée sur les produits bio par rapport aux produits traités avec les pesticides de synthèse.

## CONCLUSION

La chenille légionnaire d'automne du maïs est un insecte ravageur destructeur qui affecte intensivement la production du maïs au Niger. La présente étude a fait ressortir la bio-efficacité de l'azadirachtine à travers l'application des extraits aqueux des grains de Neem. L'usage du Neem a induit une baisse des infestations de -33% et -11,2% respectivement en hivernage et en irrigué. La baisse des infestations en irrigué a été plus significative que le pesticide chimique. Globalement, il y'a eu plus d'infestation en irrigué qu'en hivernage. La sévérité a été moindre chez le Neem et plus élevé au niveau du témoin. Le taux d'infestation des épis dans les parcelles traitées avec les extraits aqueux de grains de Neem, a été moins efficace par rapport au pesticide de synthèse et la combinaison Neem+Emacot. Les extraits aqueux de grains de Neem ont fourni le meilleur rendement par rapport à la combinaison Emacot + Neem et le témoin.

Le bio-pesticide à base de graines de Neem pourrait être une alternative aux insecticides de synthèse pour la gestion de CLA dans les champs du maïs. C'est une technologie simple, efficace et écologique qui protégerait l'utilisateur aux intoxications.

## Conflits d'intérêt

Les auteurs déclarent qu'il n'y a aucun conflit d'intérêt à propos de cet article.

## REMERCIEMENTS

Ce travail entre dans le cadre du projet de thèse financé par le Projet Sahel-IPM/ université Dan Dicko Dankoulodo de Maradi. Un sincère remerciement au projet CSAT-IPM qui a financé en partie les activités de recherche sur la chenille légionnaire d'automne.

## REFERENCES

- Abrahams, P., Beale, T., Cock, M., Corniani, N., Day, R., & Godwin, J. (2017). Fall Armyworm Status: Impacts and Control Options in Africa: Preliminary evidence note. *Cabi, April*, 18 pp.
- Ahissou, B. R., Sawadogo, W. M., Bokonon-Ganta, A. H., Somda, I., & Verheggen, F. (2021). Integrated pest management options for the fall armyworm spodoptera frugiperda in west africa: Challenges and opportunities. a review. *Biotechnology, Agronomy and Society and Environment*, 25(3), 192–207. <https://doi.org/10.25518/1780-4507.19125>
- Aniwanou, C. T. S., Sinzogan, A. A. C., Deguenon, J. M., Sikirou, R., Stewart, D. A., & Ahanchede, A. (2021). Bio-efficacy of diatomaceous earth, household soaps, and neem oil against



- spodoptera frugiperda (Lepidoptera: Noctuidae) larvae in benin. *Insects*, 12(1), 1–18. <https://doi.org/10.3390/insects12010018>
- Aribi, N., Denis, B., Kilani-Morakchi, S., & Joly, D. (2020). Azadirachtin, a natural pesticide with multiple effects. *Medecine/Sciences*, 36(1), 44–49. <https://doi.org/10.1051/medsci/2019268>
- Assefa, F., & Ayalew, D. (2019). Status and control measures of fall armyworm (Spodoptera frugiperda) infestations in maize fields in Ethiopia: A review. *Cogent Food & Agriculture*, 5(1), 1641902. <https://doi.org/10.1080/23311932.2019.1641902>
- Babendreier, D., Koku Agboyi, L., Beseh, P., Osae, M., Nboyine, J., Ofori, S. E. K., Frimpong, J. O., Attuquaye Clotey, V., & Kenis, M. (2020). The efficacy of alternative, environmentally friendly plant protection measures for control of fall armyworm, spodoptera frugiperda, in maize. *Insects*, 11(4). <https://doi.org/10.3390/insects11040240>
- Bateman, M. L., Day, R. K., Luke, B., Edgington, S., Kuhlmann, U., & Cock, M. J. W. (2018). Assessment of potential biopesticide options for managing fall armyworm (Spodoptera frugiperda) in Africa. *Journal of Applied Entomology*, 142(9), 805–819. <https://doi.org/10.1111/jen.12565>
- Batiha, G. E. S., Alqahtani, A., Ilesanmi, O. B., Saati, A. A., El-Mleeh, A., Hetta, H. F., & Beshbishy, A. M. (2020). Avermectin derivatives, pharmacokinetics, therapeutic and toxic dosages, mechanism of action, and their biological effects. *Pharmaceuticals*, 13(8), 1–37. <https://doi.org/10.3390/ph13080196>
- Bidiga, M. (2014). *Étude de l'efficacité de l'extrait aqueux de graines de neem et la deltaméthrine sur les insectes ravageurs du pourghère Uatrophha curcas L.): cas de Calidea dregii Germar. et Aughtona spp.* 80.
- Ch., B. (2013). Le margousier ou neem ( Azadirachta indica ). *Formad Environnement*, 1–18. [https://www.formad-environnement.org/brochure-neem\\_formad-oct2013.pdf](https://www.formad-environnement.org/brochure-neem_formad-oct2013.pdf)
- Chaudhary, S., Kanwar, R. K., Sehgal, A., Cahill, D. M., Barrow, C. J., Sehgal, R., & Kanwar, J. R. (2017). Progress on Azadirachta indica based biopesticides in replacing synthetic toxic pesticides. *Frontiers in Plant Science*, 8(May), 1–13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00610>
- Chimweta, M., Nyakudya, I. W., Jimu, L., & Bray Mashingaidze, A. (2020). Fall armyworm [Spodoptera frugiperda (J.E. Smith)] damage in maize: management options for flood-recession cropping smallholder farmers. *International Journal of Pest Management*, 66(2), 142–154. <https://doi.org/10.1080/09670874.2019.1577514>
- Cock, M. J. W., Beseh, P. K., Buddie, A. 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*, 7(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-04238-y>
- Cokola, M. C. (2019). *Monitoring, caractérisation moléculaire et lutte biologique contre Spodoptera frugiperda (Lepidoptera: Noctuidae)*. 79. <http://hdl.handle.net/2268.2/8077>
- Cokola, M. C., Ndjadi, S. S., Bisimwa, E. B., Ahoton, L. E., & Francis, F. (2021). First report of Spodoptera frugiperda (Lepidoptera: Noctuidae) on Onion (Allium cepa L.) in South Kivu, Eastern DR Congo. *Revista Brasileira de Entomologia*, 65(1), 2017–2022. <https://doi.org/10.1590/1806-9665-RBENT-2020-0083>
- Constanski, K. C., Zorzetti, J., Santoro, P. H., Hoshino, A. T., & Neves, P. M. O. J. (2016). Inert powders alone or in combination with neem oil for controlling Spodoptera eridania and Spodoptera frugiperda (Lepidoptera: Noctuidae) larvae. *Semina: Ciências Agrárias*, 37(4), 1801–1810. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2016v37n4p1801>
- Davis, F. M., Ng, S. S., & Williams, W. P. (1992). Visual rating scales for screening whorl-stage corn for resistance to fall armyworm. *Technical Bulletin (Mississippi Agricultural and Forestry Experiment Station)*, 186, 1–9.
- Devine, G. J., & Furlong, M. J. (2007). Insecticide use: Contexts and ecological consequences. *Agriculture and Human Values*, 24(3), 281–306. <https://doi.org/10.1007/s10460-007-9067-z>
- FAO. (2018a). Briefing Note on FAO Actions on Fall Armyworm in Africa. 16 February 2018, 7pp. <http://www.fao.org/3/a-bt415e.pdf>. E: <Http://Www.Fao.Org/Food-Chain-Crisis/How-We-Work/Plant-Protection/Fall-Armyworm/En/>, February, 1–7. <http://www.fao.org/food-chain->
- FAO. (2018b). *Gestion intégrée de la chenille légionnaire d'automne sur le maïs : Un guide pour les champs-écoles des producteurs en Afrique* (Organisati). ISBN 978-92-5-130514-0
- Fontaine, R., Clain, C., & Franck, A. (2018). Spodoptera frugiperda la chenille légionnaire d'automne. *Fdgdon*, 4.
- Forim, M. R., Matos, A. P., Silva, M. F. das G. F. d, Cass, Q. B., Vieira, P. C., & Fernandes, J. B. (2010). Uso de CLAE no controle de qualidade em produtos comerciais de Nim: reprodutibilidade da ação inseticida. *Química Nova*, 33(5), 1082–1087. <https://doi.org/10.1590/s0100-40422010000500014>

- Gabriel, P., & Conseiller, G. (2002). *Applications du nim comme insecticide / nématicide en agriculture biologique*. 4–6.
- Gbaguidi, B. J., & Adégbidi, O. C. A. (2008). Evaluation de l'efficacité des Champs Ecoles Paysans dans le renforcement de capacité de production des agriculteurs de niébé (*Vigna unguiculata* (L) Walp) au Bénin Efficiency assessment of Farmer Field School in cowpea (*Vigna unguiculata* (L) Walp). *Bulletin de La Recherche Agronomique Du Bénin Numéro*, 59(L), 23–34.
- Germain, J., Goergen, G., & Reynaud, P. (2017). *Une noctuelle américaine envahit l'Afrique*. 34–37P.
- Harrison, R. D., Thierfelder, C., Baudron, F., Chinwada, P., Midega, C., Schaffner, U., & van den Berg, J. (2019). Agro-ecological options for fall armyworm (*Spodoptera frugiperda* JE Smith) management: Providing low-cost, smallholder friendly solutions to an invasive pest. *Journal of Environmental Management*, 243(August 2018), 318–330. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.05.011>
- Hruska, A. J. (2019). Fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) management by smallholders. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*, 14(043), 0–3. <https://doi.org/10.1079/PAVSNR201914043>
- JAICAF. (2009). *Les céréales au Niger. Accent sur le mil et le sorgho*. 109. [http://www.jaicaf.or.jp/publications/niger\\_f.pdf](http://www.jaicaf.or.jp/publications/niger_f.pdf)
- Kakimoto, T., Fujisaki, K., & Miyatake, T. (2003). Egg laying preference, larval dispersion, and cannibalism in *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 96(6), 793–798. [https://doi.org/10.1603/0013-8746\(2003\)096\[0793:ELPLDA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1603/0013-8746(2003)096[0793:ELPLDA]2.0.CO;2)
- Kassie, M., Wossen, T., De Groote, H., Tefera, T., Sevgan, S., & Balew, S. (2020). Economic impacts of fall armyworm and its management strategies: Evidence from southern Ethiopia. *European Review of Agricultural Economics*, 47(4), 1473–1501. <https://doi.org/10.1093/erae/jbz048>
- Kouanda, N. (2020). Monitoring et méthodes alternatives de lutte contre *Spodoptera frugiperda* J. E Smith dans la région du Centre-Ouest du Burkina Faso. *Gembloux-Agro-Bio Tech*, 114.
- Kumela, T., Simiyu, J., Sisay, B., Likhayo, P., Mendesil, E., Gohole, L., & 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*, 65(1), 1–9. <https://doi.org/10.1080/09670874.2017.1423129>
- Looli, L., Monzenga, J. C., & Malaisse, F. (2021). Essai d'utilisation de quelques bio-insecticides contre la chenille légionnaire d'automne (*Spodoptera frugiperda* J. E Smith) dans des conditions de laboratoire à Kisangani, R. D. Congo. *Geo-Eco-Trop*, 45(1), 95–102.
- MA (Ministère de l'Agriculture). (2012). *Catalogue national des espèces et variétés végétales du Niger*. [http://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/spid/docs/Niger/CatalogueNationaldesEspescesetVarietesVegetales-Niger.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/spid/docs/Niger/CatalogueNationaldesEspescesetVarietesVegetales-Niger.pdf)
- MAE. (2021). *REPUBLIQUE DU NIGER MINISTERE DE L'AGRICULTURE Direction des Statistiques*. 32.
- Marsaro, J. A. L., Xaud, M. R., Pereira, P. R. V. da S., de Sá, L. A. N., Costa, V. A., & da Silva Júnior, E. dos S. P. (2006). Mapeamento de Regiões Climáticas Propícias ao Estabelecimento dos Parasitóides da Larva-minadora-da-folha-dos-citros no Estado de Roraima. *Comunicado Técnico 09 Embrapa Roraima*, 8. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/182381/1/cot092006-mapeamento-alberto.pdf>
- Mewis, I., & Ulrichs, C. (2001). Action of amorphous diatomaceous earth against different stages of the stored product pests *Tribolium confusum*, *Tenebrio molitor*, *Sitophilus granarius* and *Plodia interpunctella*. *Journal of Stored Products Research*, 37(2), 153–164. [https://doi.org/10.1016/S0022-474X\(00\)00016-3](https://doi.org/10.1016/S0022-474X(00)00016-3)
- 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. <https://doi.org/10.4001/003.026.0286>
- Morgan, E. D. (2009). Azadirachtin, a scientific gold mine. *Bioorganic and Medicinal Chemistry*, 17(12), 4096–4105. <https://doi.org/10.1016/j.bmc.2008.11.081>
- Nboyine, J. A., Asamani, E., Agboyi, L. K., Yahaya, I., Kusi, F., Adazebra, G., & Badii, B. K. (2022). Assessment of the optimal frequency of insecticide sprays required to manage fall armyworm (*Spodoptera frugiperda* J.E Smith) in maize (*Zea mays* L.) in northern Ghana. *CABI Agriculture and Bioscience*, 3(1), 1–11. <https://doi.org/10.1186/s43170-021-00070-7>
- Ndayiragije, P. (2019). *MANUEL DE FORMATION DES FORMATEURS SUR LA LUTTE INTEGREE CONTRE LA CHENILLE LEGIONNAIRE D'AUTOMNE, Spodoptera frugiperda Pascal NDAYIRAGIJE, Formateur Table des matières*.

- Ndiaye, A., Faye, M., Ba, I., Diallo, I., & Sembene, P. M. (2022). The fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith), a new pest of maize in Africa: monitoring, damage evaluation and identification of natural enemies on production areas of Senegal. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 15(6), 2247–2260. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v15i6.1>
- Nouari. (2014). *Filière: Biologie Effet de l'Azadirachtine sur les paramètres de développement, de reproduction et de croissance de la pyrale des dattes Ectomyelois ceratoniae Zeller dans les conditions contrôlées*.
- ONU. (2022). *Effets des pesticides et des engrais sur l'environnement et la santé et solutions envisageables pour les réduire au minimum Table des matières*. 26.
- Phambala, K., Tembo, Y., Kasambala, T., Kabambe, V. H., Stevenson, P. C., Belmain, S. (2020). Bioactivity of Common Pesticidal Plants on Fall Armyworm Larvae (*Spodoptera frugiperda*). *Plants*, 9(112), 1–10.
- Prasanna, B., Huesing, J. E., Eddy, R., & Peschke, V. M. (2018). *La chenille légionnaire d'automne en Afrique: UN GUIDE POUR UNE LUTTE INTEGREE CONTRE LE RAVAGEUR*. 124. [www.maize.org](http://www.maize.org).
- Regnault-Roger, C., & Philogène, B. J. R. (2008). Past and current prospects for the use of botanicals and plant allelochemicals in integrated pest management. *Pharmaceutical Biology*, 46(1–2), 41–52. <https://doi.org/10.1080/13880200701729794>
- Rym B., et Meghezi, N. (2016). *Etude de l'impact biologique et toxicologique de 3 types de Biopesticides: Azadirachtine, Spinosad et Bacillus thuringiensis sur les insectes*.
- Sane, B., Badiane, D., Gueye, M. T., & Faye, O. (2018). Évaluation de l'efficacité biologique d'extrait de neem (*Azadirachta indica* Juss.) comme alternatif aux pyrèthrinoïdes pour le contrôle des principaux ravageurs du cotonnier (*Gossypium hirsutum* L.) au Sénégal. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 12(1), 157. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v12i1.12>
- Schmutterer, H. (1990). Properties and potential of natural pesticides from the neem tree, *Azadirachta indica*. *Annual Review of Entomology*, 35(1), 271–297. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.35.010190.001415>
- Siazemo, M. K., & Simfukwe, P. (2020). An Evaluation of the Efficacy of Botanical Pesticides for Fall Armyworm Control in Maize Production. *OALib*, 07(09), 1–12. <https://doi.org/10.4236/oalib.1106746>
- Sigsgaard, L., Greenstone, M. H., & Duffield, S. J. (2002). Egg cannibalism in *Helicoverpa armigera* on sorghum and pigeonpea. *BioControl*, 47(2), 151–165. <https://doi.org/10.1023/A:1014577114915>
- Sisay, B., Simiyu, J., Mendesil, E., Likhayo, P., Ayalew, G., Mohamed, S., Subramanian, S., & Tefera, T. (2019). Fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* infestations in East Africa: Assessment of damage and parasitism. *Insects*, 10(7), 1–10. <https://doi.org/10.3390/insects10070195>
- Tshiabukole, J. P. K., Khonde, G. P., Phongo, A. M., Ngoma, N., Kankolongo, A. M., Vumilia, R. K., & Djamba, A. M. (2021). Simulation of Fall Armyworm (*Spodoptera frugiperda*) Attacks and the Compensative Response of Quality Protein Maize (*Zea mays*, var. Mudishi-1 and Mudishi-3) in Southwestern DR Congo. *OALib*, 08(03), 1–14. <https://doi.org/10.4236/oalib.1107217>
- Wan, J., HUANG, C., LI, C. you, ZHOU, H. xu, REN, Y. lin, LI, Z. yuan, XING, L. sheng, ZHANG, B., QIAO, X., LIU, B., LIU, C. hui, XI, Y., LIU, W. xue, WANG, W. kai, QIAN, W. qiang, MCKIRDY, S., & WAN, F. hao. (2021). Biology, invasion and management of the agricultural invader: Fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Integrative Agriculture*, 20(3), 646–663. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(20\)63367-6](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63367-6)
- Yahaya, Jerry. Nboyine, Jerry. Nboyine, Francis. Kusi, Iddrisu. Yahaya, Ahmed. Seidu, A. (2021). Effect of cultivars and insecticidal treatments on fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. smith), infestation and damage on maize. *International Journal of Tropical Insect Science*, v. 41(2), 1265-1275–2021 v.41 no.2. <https://doi.org/10.1007/s42690-020-00318-1>
- Yu, S. J., Nguyen, S. N., & Abo-Elghar, G. E. (2003). Biochemical characteristics of insecticide resistance in the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith). *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 77(1), 1–11. [https://doi.org/10.1016/S0048-3575\(03\)00079-8](https://doi.org/10.1016/S0048-3575(03)00079-8)
- Zhao, Y., Nasrullah, Z., & Li, Z. (2019). PyOD: A python toolbox for scalable outlier detection. *Journal of Machine Learning Research*, 20, 1–7.