



## Évaluation de la sensibilité de variétés vulgarisées de maïs à la chenille légionnaire d'automne, *Spodoptera frugiperda* J.E. Smith à l'ouest du Burkina Faso.

Innocent S. Yaméogo<sup>1</sup>, Delphine Ouattara<sup>2</sup>, Rémi Dabiré<sup>2</sup>, Awa Oumsonré<sup>3</sup>, Latevi Kossi<sup>1</sup>, Olivier Gnankiné<sup>1</sup>, Souleymane Nacro<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Université Joseph Ki-Zerbo, 06 BP 9499 Ouagadougou 06, Burkina Faso

<sup>2</sup>Centre régional de recherches environnementales et agricoles de l'ouest, Station de Farako-Bâ, 01 BP 910 Bobo-Dioulasso 01, Burkina Faso

<sup>3</sup>Centre Agricole Polyvalent de Matourkou, 01 BP 130 Bobo Dioulasso 01, Burkina Faso

<sup>4</sup>Centre régional de recherches environnementales, agricoles et de formation de Kamboinsé, 04 BP476 Ouagadougou 04

Auteur correspondant email : [snacro2006@yahoo.fr](mailto:snacro2006@yahoo.fr)

Submission 19<sup>th</sup> September 2023. Published online at <https://www.m.elewa.org/Journals/> on 30<sup>th</sup> November 2023. <https://doi.org/10.35759/JABs.191.2>

### RESUME

**Objectifs :** L'objectif de ce travail était d'évaluer la sensibilité de 10 variétés vulgarisées de maïs vis-à-vis de la chenille légionnaire d'automne *Spodoptera frugiperda*. La perspective de ce travail est de trouver des variétés résistantes ou tolérantes à ce nouveau ravageur au Burkina Faso.

**Méthodologie et Résultats :** L'étude a été conduite en station de recherche à Bama, dans l'ouest du Burkina Faso au cours des campagnes humides 2021 et 2022. Le dispositif expérimental était un bloc de Fisher comprenant quatre répétitions et dix traitements (variétés). Chaque répétition était constituée de 10 lignes dont chaque ligne représentait une variété de maïs dont Barka, Bondofa, Espoir, FBC6, KEJ, Komsaya, KPJ, Massongo, SR21 et Wari. Quatre séries d'observations ont été réalisées avec une périodicité de deux semaines et ce, du 44<sup>ème</sup> au 86<sup>ème</sup> jour après semis (JAS). Dix plants de chaque ligne ont été échantillonnés de façon aléatoire pour différents paramètres entomologiques. La sévérité des attaques a été établie sur la base de l'échelle de Davis et Williams allant de 0 à 9. Une classification ascendante hiérarchique (CAH) des 10 variétés avec comme paramètres la distance euclidienne et la méthode d'agrégation Ward a été faite. Les résultats montrent que le niveau des infestations de *S. frugiperda* variait en fonction des variétés et des stades phénologiques de la plante de maïs et de l'année. Les taux moyens d'infestations les plus élevés ont été enregistrés sur la variété KEJ soit 66,75±18,97% et 66,21±19,77% pour 2021 et 2022 respectivement. A contrario, les plus faibles taux moyens d'infestations de la chenille légionnaire d'automne ont été observés sur la variété Komsaya avec des valeurs de 39,92± 12,26% en 2021 et de 44,44±11,08% en 2022. La CAH a mis en évidence trois groupes de variétés. Le groupe 1 était constitué de la variété Komsaya qui était la moins sensible au ravageur. Le groupe 2 était composé des variétés Bondofa, SR21, FBC6, Wari qui ont subi des dégâts moyens de l'insecte. Enfin, le groupe 3 composé de Barka, Espoir, KEJ, KPJ,

Massongo comprenait les variétés les plus sensibles à *S. frugiperda*. Le stade montaison de la plante était le plus sensible au ravageur.

*Conclusions et application des résultats* : Ces résultats ont révélé l'existence de variétés de maïs peu ou moyennement sensibles à la chenille légionnaire d'automne. C'est le cas de la variété Komsaya, dont la culture est répandue dans la région Ouest du Burkina Faso. L'exploitation généralisée de cette variété dans toutes les régions maïsicoles du Burkina Faso pourrait permettre de réduire l'usage des insecticides de synthèse qui est actuellement l'unique réponse à *S. frugiperda*. Néanmoins, un ou deux traitements insecticides peuvent être faits quelques jours après la levée du maïs pour prévenir les importants dégâts de l'insecte observés au cours de la montaison de la plante.

**Mots clés** : tolérance, *Spodoptera frugiperda*, infestations, Burkina Faso.

## ABSTRACT

*Objectives*: The aim of this work was to evaluate the susceptibility of 10 popularized maize varieties to the fall armyworm *Spodoptera frugiperda*. The perspective of this work is to find resistant or tolerant varieties to this new insect pest in Burkina Faso.

*Methodology and results*: The study was conducted on a research station in Bama, western Burkina Faso, during the 2021 and 2022 wet seasons. The experimental design was a Fisher block with four replicates and ten treatments (varieties). Each replication consisted of 10 lines, each representing a maize variety including Barka, Bondofa, Espoir, FBC6, KEJ, Komsaya, KPJ, Massongo, SR21 and Wari. Four series of observations were carried out at two-week intervals, from day 44 to day 86 after sowing (DAS). Ten plants from each line were randomly sampled for different entomological parameters. The severity of attacks was established on the basis of the Davis and Williams scale ranging from 0 to 9. A hierarchical ascending classification (HAC) of the 10 varieties was performed, using Euclidean distance and the Ward aggregation method as parameters. The results show that the level of *S. frugiperda* infestations varied according to variety, phenological stage of the maize plant and year. The highest average infestation rates were recorded on the KEJ variety, at  $66.75 \pm 18.97\%$  and  $66.21 \pm 19.77\%$  for 2021 and 2022 respectively. In contrast, the lowest average fall armyworm infestation rates were observed on the Komsaya variety, with values of  $39.92 \pm 12.26\%$  in 2021 and  $44.44 \pm 11.08\%$  in 2022. CAH revealed three groups of varieties. Group 1 was made up of the Komsaya variety, which was the least susceptible to the insect pest. Group 2 comprised the Bondofa, SR21, FBC6 and Wari varieties, which suffered moderate damage from the insect. Finally, group 3, made up of Barka, Espoir, KEJ, KPJ and Massongo, included the varieties most susceptible to *S. frugiperda*. The bolting stage of the plant was the most susceptible to the pest.

*Conclusions and application of results*: These results revealed the existence of maize varieties with low or moderate susceptibility to armyworm. This is the case of the Komsaya variety, which is widely grown in the western region of Burkina Faso. Widespread use of this variety in all maize-growing regions of Burkina Faso could reduce the use of chemical insecticides, which is currently the only response to *S. frugiperda*. Nevertheless, one or two insecticide applications can be made a few days after maize emergence to prevent the significant insect damage observed during plant bolting.

**Key words**: tolerance, *Spodoptera frugiperda*, infestations, Burkina Faso.

## INTRODUCTION

Le maïs (*Zea mays* L.) est l'une des principales céréales consommées dans le monde, et il est cultivé dans presque toute l'Afrique. Il est considéré comme la troisième culture céréalière la plus importante au niveau économique dans le monde après le riz paddy et le blé (Badu-Apraku and Fakorede, 2017). Il est également utilisé comme aliment pour animaux et sert de matière première dans les brasseries et la transformation de l'amidon (Devantier *et al.*, 2005 ; Zhu *et al.*, 2017 ; He *et al.*, 2018). En 2016, la production de maïs était estimée à 54,8 millions de tonnes pour l'ensemble de l'Afrique (FAO, 2016 ; FAO, 2017). Au Burkina Faso, le maïs est l'un des produits céréaliers les plus cultivés et le plus consommé. Il occupe la troisième place après le sorgho et le mil au niveau des superficies cultivées, et la première place en termes de production. En 2017/2018, la production totale céréalière était estimée à 4 063 193 tonnes et la production de maïs venait en tête avec 1 533 430 tonnes (MAAH, 2018). Cependant, la production de maïs au Burkina Faso, comme dans l'ensemble de l'Afrique, est confrontée à des défis importants, notamment la sécheresse, la pauvreté des sols, les mauvaises pratiques agricoles, les aléas climatiques et les stress biotiques (Tahirou *et al.*, 2009 ; Reynolds *et al.*, 2015). En Afrique, les insectes nuisibles constituent les principaux défis biotiques auxquels est confrontée la production des céréales en générale et du maïs en particulier (Oben *et al.*, 2015 ; Mkangwa *et al.*, 2017). Les insectes nuisibles les plus répandus et les plus importants associés à la production du maïs en Afrique subsaharienne sont les foreurs de tiges tels que *Busseola fusca* Fuller (Lepidoptera : Noctuidae), *Chilo partellus* Swinhoe (Lepidoptera : Pyralidae) et *Sesamia calamistis* Hampson (Lepidoptera : Noctuidae) (Calatayud *et al.*, 2014). Les chenilles de ces insectes interrompent la circulation de l'eau et des métabolites dans le système vasculaire de la plante, ce qui inhibe sa croissance et son

développement et peut entraîner des pertes de rendement en grains pouvant atteindre 100 % lorsque ces ravageurs ne sont pas bien gérés (Visagie, 2016). Cette situation s'est exacerbée en 2016 avec l'apparition d'un nouveau ravageur, la chenille légionnaire d'automne *Spodoptera frugiperda* Smith (Lepidoptera : Noctuidae) (Goergen *et al.*, 2016). La chenille légionnaire d'automne (CLA) est un ravageur polyphage invasif grégaire des Amériques, présent surtout sur le maïs, mais aussi sur plus de 80 espèces de plantes hôtes, dont certaines cultures vivrières majeures en Afrique, comme le riz, le sorgho et certains légumes (Cruz *et al.*, 1999; Day *et al.*, 2017). *Spodoptera frugiperda* a une large distribution géographique et son incidence sur les cultures peut se produire tout au long de l'année et présentant un potentiel biotique élevé dans des conditions climatiques favorables (Early *et al.*, 2018 ; Montezano *et al.*, 2018 ; Prasanna *et al.*, 2018). L'adulte du ravageur a un très grand pouvoir de dispersion et les chenilles peuvent affecter de grandes zones en peu de temps en raison de leur comportement migratoire, en fonction de la disponibilité des plantes hôtes et des conditions climatiques (Piovesan *et al.*, 2018). Les chenilles se nourrissent en grattant les feuilles et en réduisant la surface photosynthétique de la plante (Goergen *et al.*, 2016 ; Prasanna *et al.*, 2018 ; FAO, 2018b). Les dégâts causés par la noctuelle peuvent réduire considérablement la production. En fonction de la densité de population et du stade phénologique des cultures attaquées, les pertes de rendement peuvent aller de 20 à 70% (Day *et al.*, 2017 ; Baudron *et al.*, 2019) et dans certains cas d'infestations sévères, une perte totale de la culture peut survenir, soit 100% de pertes de rendement (Visagie, 2016). Selon Hruska et Gould (1997), le rendement des plantes de maïs diminuerait proportionnellement à l'augmentation du pourcentage de plantes infestées. L'un des facteurs contribuant au succès de *S. frugiperda*

à endommager les cultures est son adaptabilité aux différents stades de croissance de ses plantes hôtes (Ayala *et al.*, 2013 ; Goergen *et al.*, 2016 ; Midega *et al.*, 2018). Le comportement des larves dans les plantes hôtes réduit considérablement la sensibilité de cette espèce à de nombreux insecticides de contact. Dans le verticille des plantes de maïs, les larves de *S. frugiperda* sont généralement profondément distribuées, ce qui réduit leur contact avec les applications insecticides et le dépôt superficiel d'insecticide sur les feuilles semble être un facteur limitant dans la lutte contre ce ravageur (Hardke *et al.*, 2011). Malgré l'importance des insecticides de synthèse dans la lutte contre *S. frugiperda* (Oben *et al.*, 2015 ; Sisay *et al.*, 2019 a,b ; Yameogo *et al.*, 2023), leur application sans discernement peut entraîner de graves problèmes, notamment l'empoisonnement direct par la consommation d'aliments traités, la pollution de l'environnement, la réduction de la population d'insectes bénéfiques (pollinisateurs et ennemis naturels) et d'autres organismes non ciblés (Aktar *et al.*, 2009). Face aux problèmes que posent les insecticides de synthèse, la lutte biologique et la résistance variétale sont des méthodes alternatives appropriées et prometteuses de protection des végétaux, respectueuses de l'environnement, dans la gestion intégrée des ravageurs (Kega *et al.*, 2013). En effet, dans les régions où *S. frugiperda* est présent depuis plusieurs décennies, comme en Amérique du Nord et du Sud (Prasanna *et al.*, 2018), plusieurs parasitoïdes entomophages ont été repertoriés (Molina-Ochoa *et al.*, 2006) et des stratégies de

gestion sont basées sur ces ennemis naturels indigènes pour maintenir les populations de *S. frugiperda* en dessous du niveau de dommages économiques (Perez-Alvarez *et al.*, 2019). En Afrique de l'Est, les parasitoïdes naturels ont montré des niveaux de parasitisme élevés et intéressants comme par exemple *Cotesia icipe* Fernandez-Triana & Fiaboe qui a enregistré un taux de parasitisme de 45,3 % (Sisay *et al.*, 2018). La résistance variétale apparaît également comme une composante de plus en plus privilégiée dans la gestion durable des ravageurs (Kogan, 1994 ; Adango *et al.*, 2021 ; Chiriboga Morales *et al.*, 2021). Elle s'avère être l'une des alternatives à la lutte chimique, respectueuse de l'environnement et la moins coûteuse pour les producteurs, si elle venait à être mise en œuvre efficacement (Adango *et al.*, 2021). Au Burkina Faso, trois catégories de cultivars de maïs sont généralement exploitées par les producteurs. Il s'agit des cultivars précoces, des cultivars extra-précoces et des cultivars tardifs. Cependant, aucune information n'existe à ce jour sur un quelconque comportement différentiel de ces trois catégories de cultivars quant à leur sensibilité à *S. frugiperda*. Dans la présente étude, nous avons évalué en station de recherche durant deux campagnes agricoles consécutives (2021 et 2022), la sensibilité de 10 variétés de maïs les plus cultivées à travers le pays, aux infestations naturelles de *S. frugiperda*. La promotion des cultivars les moins sensibles au ravageur pourrait contribuer à réduire l'usage des insecticides de synthèse contre *S. frugiperda* à travers le Burkina Faso.

## MATERIEL ET METHODES

**Site de l'étude :** L'étude a été conduite en station de recherche agronomique à Bama pendant deux campagnes agricoles consécutives, 2021 et 2022. Bama est une commune rurale située à 30 km environ au Nord-Ouest de la ville de Bobo-Dioulasso sur l'axe Bobo-Faramana, frontière du Mali

(Figure 1). Cette commune est située entre 10°20' de latitude Nord et 4°20' de longitude Ouest, à une altitude de 300 m au-dessus du niveau de la mer. Selon Guinko (1984), le climat de la zone d'étude est du type Sud-soudanien et est caractérisé par l'alternance d'une saison pluvieuse de mai à octobre et

d'une saison sèche de novembre à avril. Les températures minimales inférieures à 15°C, surviennent en saison sèche froide notamment pendant les mois de décembre, janvier et février alors que les maximales supérieures à 39°C, sont enregistrées au cours de la période de mars à avril. Les plus fortes humidités de l'air sont observées pendant la saison des pluies avec un pic en août. Les précipitations dépassent fréquemment 1000 mm d'eau. En nous référant à la situation de la pluviométrie des cinq dernières années de la zone de Bama, la moyenne pluviométrique durant ce dernier quinquennat est de 1070,24 mm d'eau en 71,6 jours de pluie. Les sols de Bama sont de types

ferrugineux tropicaux, hydro morphes ou acides et se distinguent par une texture limoneuse (36,7%) (Bado, 1991). La végétation de Bama est de type savane arbustive et arborée. Les formations végétales de la strate boisée se composent essentiellement d'essences telles que *Parkia biglobosa*, *Detarium microcarpum*, *Sclerocaria birrea*, *Vitellaria paradoxa*, *Piliostigma thonningii*, *Tamarindus indica*. Le tapis graminéen est composé d'espèces telles que : *Andropogon* sp., *Pennisetum pedicellatum*, *Eragrostis tremula* (Guinko, 1984).

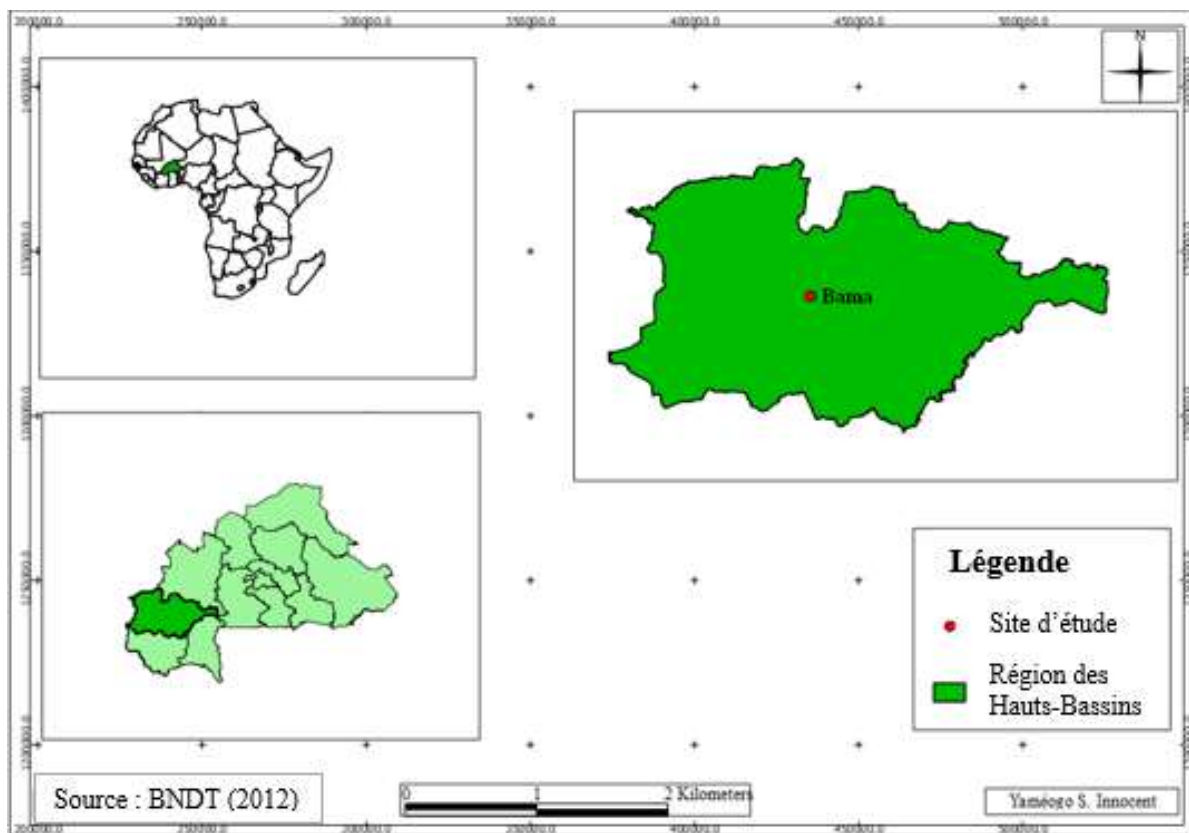


Figure 1 : Carte de zone d'étude

**Matériel d'étude :** Le matériel était composé de 10 variétés de maïs parmi les plus populaires à savoir les variétés extra-précoces Barka et KEJ, les variétés précoces Wari, KPJ, FBC6 et Komsaya, et les variétés

intermédiaires Bondofa, SR21, Espoir et Massongo (tableau 1). Le matériel animal était représenté par les larves de *S. frugiperda*. Ce lépidoptère a un développement larvaire en six stades.



**Tableau 1** : Matériel végétal utilisé

Variété	Couleur grains	Cycle semi-maturité (jours)	Rendement potentiel (t/ha)
SR21	Blanc	95-110	5,1
ESPOIR	Jaune	95-110	6,5
WARI	Jaune	85-94	6,4
KOMSAYA	Blanc	85-95	8 à 9
BARKA	Blanc	70-84	5,5
KEJ	Jaune	70-84	3,2
FBC6	Jaune	70-84	5,6
KPJ	Jaune	70-84	3,4
MASSONGO	Blanc	95-110	3,8
BONDOFA	Blanc	95-111	6,5

**Dispositif expérimental :** Le plan de l'expérimentation était un dispositif en blocs de Fisher complètement randomisés en quatre répétitions. Chaque variété était représentée par une ligne dans le bloc soit dix (10) lignes de maïs pour les 10 variétés par bloc. Les variétés étaient séparées par une distance d'un (1) mètre entre les lignes, 0,4 mètre entre les poquets tandis que les blocs étaient séparés entre eux par une distance de deux (02) mètres. Ainsi, la superficie de l'essai était de 756 m<sup>2</sup>. Chaque bloc avait une superficie de 162 m<sup>2</sup>.

**Mise en place de l'expérimentation :** Pour s'assurer d'une bonne levée et éviter des ré-semis, un test de germination a été réalisé au laboratoire d'entomologie à Farako-Ba. Vingt-cinq graines de maïs de chaque variété ont été déposées dans dix boîtes de Pétri, imbibées de coton. L'observation a duré 72h. Dans le but d'offrir les meilleures conditions de développement aux plants, un labour de 15 à 25 cm de profondeur a été réalisé après une pluie d'au moins 20 mm d'eau. Un planage a été réalisé après le labour. Le semis a été réalisé en raison de 3 à 4 graines par poquet à une profondeur de 2 à 6 cm suivi d'un ré-semis 9 jours après. Un démariage a été réalisé en raison de 2 plants par poquet à partir du 9<sup>ème</sup> jour après semis (JAS). Le NPK (14-23-14,6S+1B) a été apporté en raison de 200 kg/ha soit 3,5kg/bloc 15 JAS suivi d'un premier sarco-binage. La première fraction d'urée a

été appliquée à la dose de 100 kg/ha (soit 1,5kg pour l'expérimentation) suivi du deuxième sarco-binage deux semaines plus tard soit le 29 JAS. Le buttage a été réalisé au 45<sup>ème</sup> JAS pour renforcer la vigueur des plants et recouvrir la deuxième fraction d'urée appliquée (soit 2 kg pour l'expérimentation à la dose de 50 kg/ha). Aucun traitement phytosanitaire n'a été appliqué dans l'expérimentation.

**Collecte des données :** Les observations ont porté sur les dégâts causés par *S. frugiperda* sur les plants de maïs. Les paramètres évalués étaient : le nombre de feuilles des plants, le nombre de feuilles attaquées, le nombre de verticilles, le nombre de verticilles attaqués, le nombre de trous sur la tige, le nombre d'épis attaqués et le nombre de grains attaqués. Les observations ont porté sur 10 plants choisis de façon aléatoire par ligne lors de chaque série d'observations. Pour évaluer l'ampleur des dégâts du ravageur sur les plants de maïs, les dommages sur les feuilles et sur les épis ont été observés et évalués à l'aide de l'échelle de Davis *et al.* (1992) allant de 0 à 9. Le taux moyen d'infestations a été déterminé en divisant le nombre de plantes infestées par le nombre total de plantes observées, puis le quotient obtenu a été multiplié par 100, selon la formule proposée par FAO (2019) :

**Taux d'infestations =  $(\Sigma \text{ de plantes infestées}) \times 100 / \Sigma \text{ total de plantes ciblées}$**

**Analyse des données :** Les données récoltées ont été saisies et regroupées à l'aide du logiciel Microsoft Excel 2016. Le traitement statistique des données a été réalisé avec le logiciel R version 4.2.1. Les données ont subi le test de normalité de Shapiro-Wilk (Shapiro and Wilk, 1965) avant d'être soumises à des analyses de variance (ANOVA). Au cas où les données n'étaient pas normalement distribuées, le test de Bartlett a été utilisé pour vérifier l'homogénéité des variances. Lorsque les variances n'étaient pas homogènes, le test non paramétrique de Kruskal-Wallis a été

utilisé (K-W) au seuil de significativité de 5%. Les Generalized linear models (GLM) ont été utilisés pour tester l'effet des variétés, des années et des stades phénologiques de la plante, ainsi que leur interaction sur les variables, taux d'infestation (TI) et scores d'attaques des plants de maïs par les larves de la chenille légionnaire d'automne. Enfin, le regroupement des variétés a été faite à l'aide d'une classification ascendante hiérarchisée (ACH) avec le logiciel XLSTAT (Version 2007.7.02).

## RESULTATS

**Effets des facteurs, années, variétés, stades phénologiques du maïs ainsi que leurs interactions sur les variables, taux d'infestation (TI) et scores d'attaques des plants :** Les résultats de l'analyse de variance des taux moyens d'infestations et des scores moyens d'attaques de *S. frugiperda* sur les

plants de maïs sont résumés dans le tableau 2. L'année de production, la variété de maïs, le stade phénologique ainsi que leurs interactions ont significativement affecté les taux moyens d'infestations du maïs (TI) et les scores moyens d'attaques de *S. frugiperda* sur les plants.

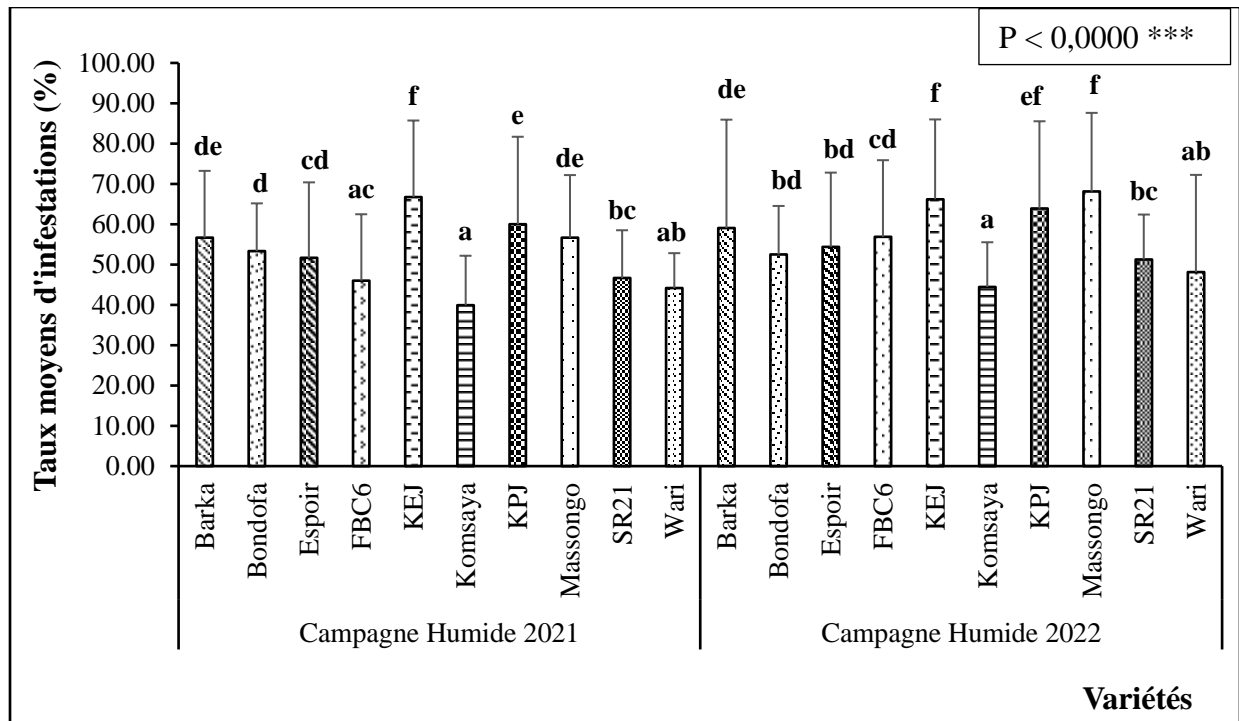
**Tableau 2 :** Effets des facteurs, années, variétés, stades phénologiques ainsi que leurs interactions sur les variables, taux moyens d'infestation (TI) et scores moyens d'attaques des plants de maïs

Sources de variation	Taux moyens d'infestation			Scores moyens d'attaques		
	Df	F	P	Df	F	P
Années (An)	1	58,68	< 0,0000 ***	1	12,49	0,0004 ***
Variétés (Var)	9	77,43	< 0,0000 ***	9	6,42	< 0,0000 ***
Stades de développement (Stad)	3	237,44	< 0,0000 ***	3	9,49	< 0,0000 ***
An x Var	9	5,37	< 0,0000 ***	9	1,14	0,3291 <sup>ns</sup>
An x Stad	3	41,25	< 0,0000 ***	3	9,46	< 0,0000 ***
Stad x Var	27	11,56	< 0,0000 ***	27	1,96	0,0022 **
An x Var x Stad	27	6,89	< 0,0000 ***	27	1,55	0,0351 *

An : année ; Var : Variétés ; Stad : Stades de développement ; ns : non significatif ; \* : significatif  
\*\* : très significatif ; \*\*\* : très hautement significatif.

**Taux moyens d'infestations foliaires du maïs par *Spodoptera frugiperda* en fonction des variétés :** Les taux moyens d'infestations du maïs ont varié significativement ( $X^2 = 383,63$  ;  $df = 9$  ;  $p < 0,0000$ ) en fonction de la variété. Ces taux moyens ont également été influencés par l'année de production ou campagne agricole ( $X^2 = 3,46$  ;  $df = 1$  ;  $p < 0,0000$ ). Ainsi, les infestations des plants de maïs par les larves de la chenille légionnaire

d'automne étaient plus importantes sur la variété KEJ. Ces taux moyens d'infestations étaient respectivement de  $66,75 \pm 18,97\%$  et de  $66,21 \pm 19,77\%$  pour les campagnes agricoles humides 2021 et 2022. Des taux moyens d'infestations inférieurs ont été observés sur la variété Komsaya. Ces valeurs étaient respectivement de  $39,92 \pm 12,26\%$  en 2021 et de  $44,44 \pm 11,08\%$  en 2022 pour cette variété de maïs (Figure 3).



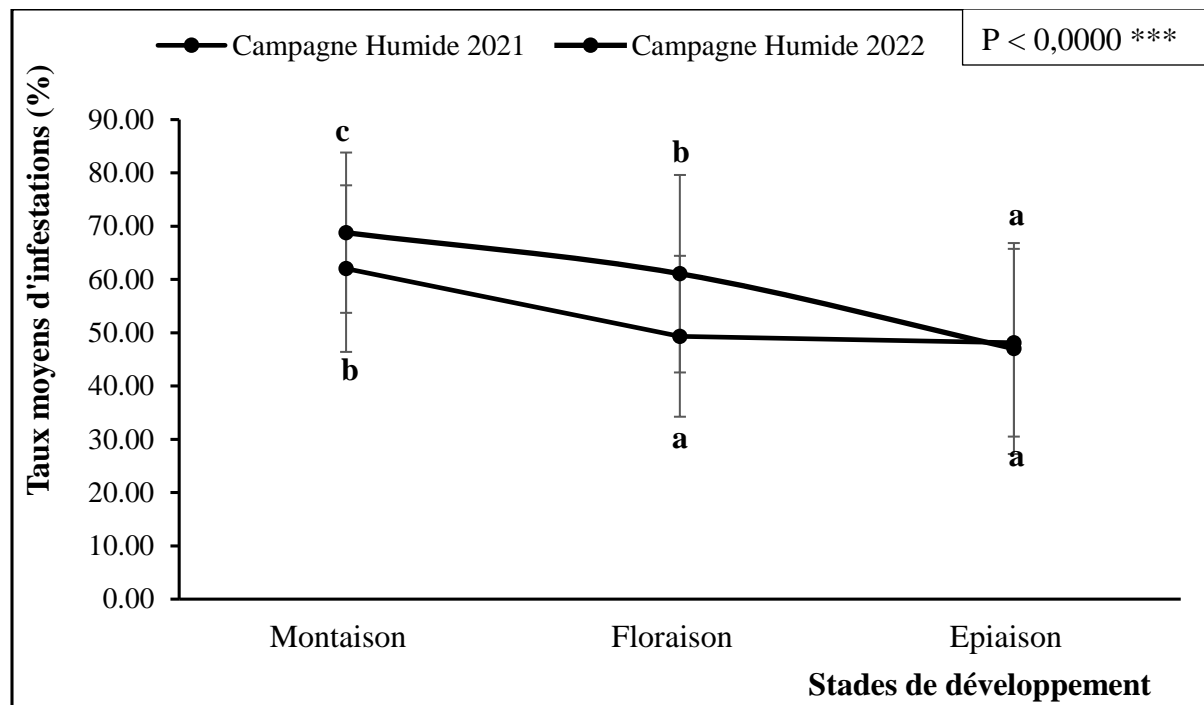
**Figure 3 :** Taux moyens d'infestations du maïs par *Spodoptera frugiperda* en fonction des variétés et de la campagne agricole, Bama, Burkina Faso.

Les moyennes suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes entre elles au seuil de 5%.

**Taux moyens d'infestations du maïs par *Spodoptera frugiperda* en fonction des stades phénologiques de la plante :** Les taux moyens d'infestations des plants de maïs ont connu des variations au cours des différents stades phénologiques de la plante maïs également en fonction de la période ou de la campagne de production. L'analyse de variance de cette variable a révélé une différence très hautement significative ( $X^2= 490,45$  ;  $df = 3$  ;  $p < 0,0000$ ) entre les variétés. La campagne agricole

humide 2022 a enregistré en moyennes un niveau de dégâts plus élevé comparativement à la campagne agricole humide 2021. Par ailleurs, pour les deux campagnes agricoles, les taux moyens d'infestations étaient beaucoup plus importants au stade montaison ( $62,03 \pm 15,63$  pour la campagne 2021 et  $68,77 \pm 15,04$  pour la campagne 2022) que pour les autres stades phénologiques de la plante (Figure 4).





**Figure 4 :** Taux moyens d'infestations du maïs par *Spodoptera frugiperda* en fonction des stades phénologiques de la plante, Bama, Burkina Faso.

Les moyennes suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%.

**Niveau des dégâts foliaires infligés au maïs en fonction des variétés :**

La sévérité des attaques de la chenille légionnaire d'automne a été enregistrée à travers les scores végétatifs suivant l'échelle de Williams et Davis (1992). L'analyse de variance des scores moyens végétatifs en fonction des variétés a révélé une différence significative entre les variétés selon le test de Kruskal-Wallis ( $X^2 = 64,911$  ;  $df = 9$  ;  $p < 0,0000$ ). Les scores moyens d'attaques

de *S. frugiperda* les plus élevés sur l'appareil végétatif des plantes ont été observés sur les variétés KEJ ( $2,07 \pm 0,86$ ) durant la campagne humide de 2021 et KPJ ( $2,14 \pm 1,03$ ) durant la campagne humide de 2022. Les variétés Komsaya, FBC6, Barka et SR21 ont enregistré les plus faibles scores moyens d'attaques durant les deux campagnes agricoles consécutives (Tableau 3).

**Tableau 3 :** Scores moyens d'attaques de *Spodoptera frugiperda* sur l'appareil végétatif du maïs, Bama, Burkina Faso

Variétés	Campagne humide 2021	Campagne humide 2022
	Scores moyens végétatifs	Scores moyens végétatifs
Barka	1,64±0,91a	1,99±0,98ac
Bondofa	1,82±1,03ab	1,84±0,98ac
Espoir	1,77±1,12ab	1,87±1,04ac
FBC6	1,62±0,89a	1,97±1,06ac
KEJ	2,07±0,86b	2,11±0,93bc
Komsaya	1,62±0,79a	1,69±0,83a
KPJ	2,01±0,94ab	2,14±1,03c

Massongo	1,87± 1,20ab	1,94±0,82ac
SR21	1,69±0,98ab	1,74±0,90a
Wari	1,67±0,9ab	1,78±0,91ab
dl	9	9
X <sup>2</sup>	39,95	37,02
P	0,0000 ***	0,0000 ***

Les moyennes suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%.

**Niveau des dégâts foliaires infligés aux variétés de maïs en fonction des stades phénologiques de la plante :** Les stades phénologiques de la plante de maïs ont eu une influence significative ( $X^2 = 16,20$  ;  $df = 3$  ;  $p = 0,0010$ ) sur les scores moyens végétatifs des

infestations du ravageur. Le stade montaison a enregistré les scores moyens de dégâts foliaires les plus élevés avec des valeurs de  $1,82 \pm 1,1$  et de  $2,15 \pm 1,07$  respectivement pour les campagnes agricoles humides de 2021 et de 2022 (Tableau 4).

**Tableau 4 :** Scores moyens d'attaques de *S. frugiperda* observés sur les feuilles des variétés de maïs en fonction des stades phénologiques de la plante, Bama, Burkina Faso

Stades phénologiques	Campagne humide 2021	Campagne humide 2022
	Scores moyens végétatifs	Scores moyens végétatifs
Montaison	1,82±1,13a	2,15±1,07c
Floraison	1,67±0,98a	1,97±0,96b
Epiaison	1,81±0,89a	1,75±0,86a
dl	2	2
X <sup>2</sup>	9,96	45,18
P	0,0068	1,54E-10

Les moyennes suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes entre elles au seuil de 5%.

**Niveau de dégâts de *Spodoptera frugiperda* sur les épis des variétés de maïs :** La figure 5 présente les scores moyens d'attaques de *S. frugiperda* observés sur les épis de maïs. Une différence significative ( $X^2 = 37,62$  ;  $df = 9$  ;  $p < 0,0000$ ) a été enregistrée entre les variétés suivant le test de Kruskal-Wallis sur les scores

moyens d'attaques des épis de maïs au seuil de 5%. Les attaques des épis étaient plus importantes sur la variété KPJ ( $2,40 \pm 1,27$  en 2021 ;  $2,30 \pm 1,13$  en 2022) et moins importantes sur la variété Bondofa ( $1,47 \pm 0,73$  en 2021 ;  $1,42 \pm 0,78$  en 2022) (Tableau 5).

**Tableau 5 :** Scores moyens des grains de maïs en fonction des variétés, Bama, Burkina Faso

Variétés	Campagne Humide 2021	Campagne Humide 2022
	Scores végétatifs	Scores végétatifs
Barka	2,17±1,02ab	2,02±0,97ab
Bondofa	1,47±0,73a	1,42±0,78a
Espoir	1,87±1,04ab	1,95±1,17ab
FBC6	1,77±0,89ab	1,97±0,86ab
KEJ	2,03±0,93ab	1,95±0,81ab
Komsaya	1,67±0,80ab	1,72±0,84b
KPJ	2,40±1,27b	2,30±1,13ab
Massongo	2,13±1,36ab	1,92±1,25ab
SR21	1,97±1,16ab	1,82±1,19ab
Wari	1,96±0,96ab	1,90±1,10ab
dl	9	9
X <sup>2</sup>	17,41	23,43
P	0,04265	0,0053

*Les moyennes suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%.*

**Classification Ascendante Hiérarchisée:** Les caractères quantitatifs, les taux moyens d'infestations et les scores moyens d'attaques ont permis de produire une classification ascendante hiérarchique (CAH) des 10 variétés avec comme paramètres la distance euclidienne et la méthode d'agrégation Ward. Ainsi, suivant leurs performances de tolérance à *Spodoptera frugiperda* le dendrogramme a regroupé les 10 variétés en trois classes ou

groupes (Figure 5). Le groupe 1 était constitué de la variété Komsaya qui a présenté moins de dégâts de la CLA. Le groupe 2 composé des variétés comme Bondofa, SR21, FBC6, Wari qui ont enregistré des dégâts moyens de la CLA. Enfin, le groupe 3 composé des variétés Barka, Espoir, KEJ, KPJ, Massongo qui ont subi des dégâts très importants de la chenille légionnaire d'automne.

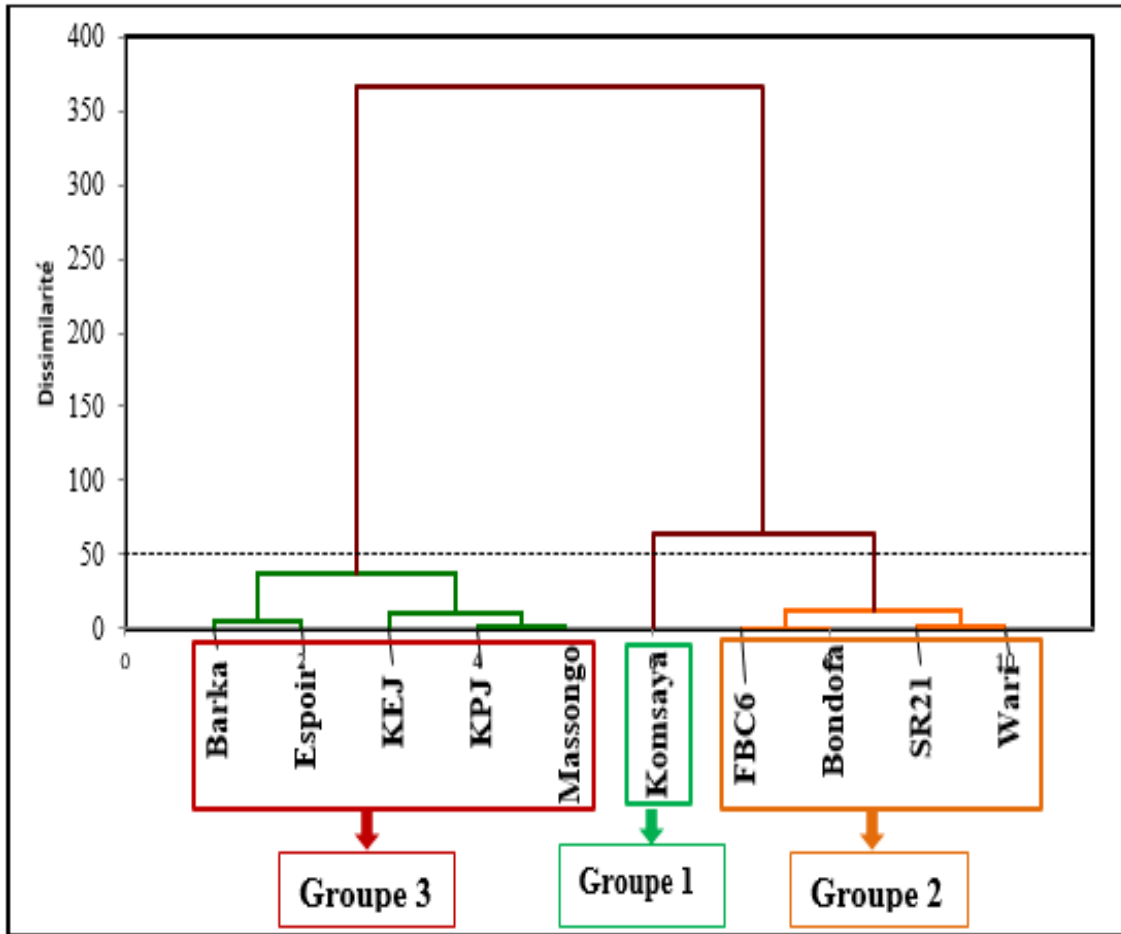


Figure 5 : Dendrogramme issu de la CAH des 10 variétés

## DISCUSSION

La présente étude est certainement la première au Burkina Faso à s'intéresser, en conditions réelles, au comportement différentiel des variétés de maïs face aux attaques de *Spodoptera frugiperda*. Elle a été initiée en vue d'identifier des variétés de maïs les moins sensibles au ravageur, dans la recherche d'une alternative à la lutte chimique de synthèse dont les conséquences multiples sont néfastes. Nos résultats montrent que toutes les dix (10) variétés utilisées sont sujettes aux attaques de l'insecte. Cependant, elles diffèrent significativement selon leur degré de sensibilité au ravageur. Les taux moyens d'infestations et les scores moyens d'attaques des plants de maïs ont varié en fonction des stades phénologiques de la plante, des variétés de maïs et de l'année. Ainsi, les taux moyens

d'attaques les plus importants ont été observés au cours de la montaison avant de se stabiliser à l'épiaison. Selon Gross *et al.* (1982), les différents stades de croissance du maïs varient dans leur sensibilité aux attaques de *S. frugiperda*. La plus grande sensibilité du stade montaison de la plante de maïs à l'insecte pourrait s'expliquer par une présence plus élevée des larves du ravageur et d'une meilleure qualité des feuilles de la plante au cours de ce stade phénologique du maïs. En effet, la montaison correspond à la multiplication de la biomasse foliaire de la plante. Cette quantité importante de feuillage produite permet d'abriter un grand nombre de noctuelles dans la journée, augmentant le nombre de pontes sur les plantes. Les larves résultantes de ces pontes contribuent alors à

l'augmentation du taux d'infestations des plantes. Ces résultats confirment ceux de Malausa et Marival (1981), selon lesquels les œufs sont déposés sur les plantes au stade levé et les dégâts les plus importants interviennent au stade montaison par les chenilles âgées issues de ces œufs. L'inflexion des attaques du ravageur observée à l'épiaison pourrait être liée à l'âge des plants de maïs qui possèdent des feuilles plus lignifiées et donc rendant leur consommation plus difficile par l'insecte. Les plantes de maïs cessent de produire de nouvelles feuilles après la montaison et se contentent de l'activité des feuilles acquises pour le reste de leur cycle biologique. L'arrêt de la production de nouvelles feuilles couplé au vieillissement de celles déjà en place concourent à la raréfaction d'aliments pour les larves de *S. frugiperda* ce qui les expose aux prédateurs et autres aléas climatiques tels que les vents, les orages, les précipitations et la chaleur (Igyuve *et al.*, 2018; Nurzannah *et al.*, 2020). En plus, la concentration des composantes de la paroi cellulaire, en particulier sa teneur en lignine, augmente avec la maturité progressive des tissus (Morrison *et al.*, 1998), ce qui les rend moins attractives pour les chenilles. Les mandibules de ces larves peuvent être également moins efficaces pour percer et broyer des tissus matures plus résistants (Bergvinson *et al.*, 1995). La variété Komsaya s'est révélée la moins sensible aux attaques du ravageur contrairement à la variété KEJ qui a été trouvée la plus sensible des 10 variétés évaluées. Aussi, le dendrogramme issu de l'analyse des paramètres quantitatifs classe les dix variétés en trois groupes. Le groupe 1 constitué de la variété Komsaya pourrait être qualifié de peu sensible, le groupe 2 composé

de variétés comme Bondofa, SR21, FBC6, Wari de moyennement sensible et enfin, le groupe 3 composé des variétés Barka, Espoir, KEJ, KPJ, Massongo de sensible à la chenille légionnaire d'automne. Les variétés aux taux d'infestations et scores d'attaques faibles telles que Komsaya du groupe 1, Bondofa, SR21, FBC6, Wari du groupe 2 pourraient avoir développé une faible sensibilité vis-à-vis de *S. frugiperda*. Ces variétés subissent des attaques plus ou moins sévères impactant ainsi négativement la zone chlorophyllienne responsable de la synthèse carbonique des plantes de maïs. Ce qui pourrait avoir une influence sur le taux de pollinisation des plantes lorsque l'attaque est sévère et sur le rendement en fourrage plus qu'en graines. Chimweta (2019) avait démontré que les dégâts de *S. frugiperda* se manifestent par la perte de la zone photosynthétique, des dommages structurels dans le verticille, la verse, et des dommages causés aux grains. Hruska et Gould (1997), sont parvenus à établir que les infestations durant le stade de développement du maïs allant du milieu à la fin du cycle entraînaient des pertes de rendement de 15 à 73% lorsque 55 à 100% des plants sont infestés par *S. frugiperda*. Bien que tout dommage à la feuille puisse réduire potentiellement le rendement en grain, les dommages aux feuilles ne peuvent pas être utilisés à eux seuls comme un prédicteur principal de perte en rendement du maïs selon Baudron *et al.* (2019). Ainsi, il est nécessaire d'investiguer davantage avant d'établir la relation entre les dommages foliaires de *S. frugiperda* et la perte de rendement en grains de maïs en milieu réel pour établir des modèles de prédiction plus précis.

## CONCLUSION ET APPLICATION DES RESULTATS

Ces résultats ont révélé l'existence de variétés de maïs peu ou moyennement sensibles à la chenille légionnaire d'automne. C'est le cas de la variété Komsaya, dont la culture est répandue dans la région Ouest du Burkina

Faso. L'exploitation généralisée de cette variété dans toutes les régions maïsicoles du Burkina Faso pourrait permettre de réduire l'usage des insecticides de synthèse qui est actuellement l'unique réponse à *S. frugiperda*.



Néanmoins, un ou deux traitements insecticides peuvent être faits quelques jours après la levée du maïs pour prévenir les

importants dégâts de l'insecte observés au cours de la montaison de la plante.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Adango, E., Onzo, A., Kassa, J.W. (2021). Comportement de quelques variétés de la grande morelle, *Solanum macrocarpon* L.(Gboma) face à l'attaque de l'acarien tarsonème, *Polyphagotarsonemus latus* Banks (Acari: Tarsonemidae) au Sud-Bénin. J. Anim. Plant Sci. 47, 8372–8386. <https://doi.org/10.35759/JAnmPISci.v47-1.3>
- Aktar, M. W., Sengupta, D., & Chowdhury, A. (2009). Impact of pesticides use in agriculture: their benefits and hazards. *Interdisciplinary Toxicology*, 2(1), 1–12. <https://doi.org/10.2478/v10102-009-0001-7>
- Ayala, O. R., Navarro, F., & Virla, E. G. (2013). Évaluation de l'attaque et du niveau de dommages par la chenille légionnaire, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), affectant les cultures de maïs dans le nord. *Revista de La Facultad de Ciencias Agrarias*, 45(2), 1853–1865.
- Bado B.V. (1991). Etude de l'efficacité du phosphate en riziculture. Rapport d'activité. INERA, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 42P.
- Badu-Apraku, B., & Fakorede, M. A. B. (2017). Advances in genetic enhancement of early and extra-early maize for sub-Saharan Africa, 1–604. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-64852-1>
- Baudron, F., Zaman-Allah, M. A., Chaipa, I., Chari, N., & Chinwada, P. (2019). Understanding the factors influencing Fall Armyworm (*Spodoptera frugiperda* J.E. Smith) damage in African smallholder maize fields and quantifying its impact on yield. A case study in Eastern Zimbabwe. *Crop Protection*, 120 (June), 141–150. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.01.028>
- Bergvinson, D.J., Hamilton, R.I., Arnason, J.T. (1995). Leaf profile of maize resistance factors to European corn borer, *Ostrinia nubilalis*. J. Chem. Ecol. 21, 343–354.
- Calatayud, P. A., Le Ru, B. P., van den Berg, J., & Schulthess, F. (2014). Ecology of the African maize stalk borer, *Busseola fusca* (Lepidoptera: Noctuidae) with special reference to 95 insect-plant interactions. *Insects*, 5(3), 539–563. <https://doi.org/10.3390/insects5030539>
- Chimweta M., Nyakudya I.W., Jimu L., Mashingaidze A.B., (2019). 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):1-13, pp. 142-154.
- Chiriboga Morales, X., Tamiru, A., Sobhy, I.S., Bruce, T.J., Midega, C.A., Khan, Z. (2021). Evaluation of african maize cultivars for resistance to Fall Armyworm *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) larvae. *Plants* 10, 392.
- Cruz, I., Figueiredo, M. L. C., Oliveira, A. C., & Vasconcelos, C. A. (1999). Damage of *Spodoptera frugiperda* (Smith) in different maize genotypes cultivated in soil under three levels of aluminium saturation. *International Journal of Pest Management*, 45(4), 293–296. <https://doi.org/10.1080/096708799227707>

- Davis, F.M., Ng, S.S., Williams, W.P. (1992). Visual rating scales for screening whorl-stage corn for resistance to fall armyworm. *Tech. Bull. Miss. Agric. For. Exp. Stn.* 1–9.
- Devantier, R., Pedersen, S., & Olsson, L. (2005). Characterization of very high gravity ethanol fermentation of corn mash. Effect of glucoamylase dosage, pre-saccharification and yeast strain. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 68(5), 622–629. <https://doi.org/10.1007/s00253-005-1902-9>
- Day, R., Abrahams, P., Bateman, M., Beale, T., Clotey, V., Cock, M., Murphy, S. T. (2017). Fall armyworm: impacts and implications for Africa. *Outlooks on Pest Management*, 28(5), 196–201. <https://doi.org/10.1564/v28>
- Early, R., González-Moreno, P., Murphy, S. T., & Day, R. (2018). Forecasting the global extent of invasion of the cereal pest *Spodoptera frugiperda*, the Fall Armyworm. *NeoBiota*, 50(40), 25–50. <https://doi.org/10.3897/neobiota.40.28165>
- FAO. (2016). Crop Prospects and Food Situation, No. 2 June 2016. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-i5710e.pdf>
- FAO. (2017). Note d'information de la FAO sur la chenille légionnaire d'automne en Afrique, 7P.
- FAO. (2018). Integrated management of the Fall Armyworm on maize A guide for Farmer Field Schools in Africa. Retrieved from <http://www.fao.org/3/I8665EN/i8665en.pdf>
- 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. 9P.
- Gross Jr, H.R., Young, J.R., Wiseman, B.R. (1982). Relative susceptibility of a summer-planted dent and tropical flint corn variety to whorl stage damage by the fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae). *J. Econ. Entomol.* 75, 1153–1156.
- Guinko S. (1984). Végétation de la Haute Volta. Thèse de Doctorat des Sciences Naturelles, Université de Bordeaux III, 394P.
- Hardke, J. T., Leonard, B. R., Huang, F., & Jackson, R. E. (2011). Damage and survivorship of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) on transgenic field corn expressing *Bacillus thuringiensis* Cry proteins. *Crop Protection*, 30(2), 168–172. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2010.10.005>
- He, Y., Cao, Y., Chen, S., Ma, C., Zhang, D., & Li, H. (2018). Analysis of flavour compounds in beer with extruded corn starch as an adjunct. *Journal of the Institute of Brewing*, 124(1), 9–15. <https://doi.org/10.1002/jib.474>
- Hruska, A. J., & Gould, F. (1997). Fall Armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) and *Diatraea lineolate* (Lepidoptera: Pyralidae): Impact of larval population level and temporal occurrence on maize yield in Nicaragua. *Journal of Economic Entomology*, 90(2), 611–622. <https://doi.org/10.1093/jee/90.2.611>
- Igyuve, T.M., Ojo, G.O.S., Ugbaa, M.S., Ochigbo, A.E. (2018). Fall army worm (*Spodoptera frugiperda*); its biology, impact and control on maize production in Nigeria. *Niger. J. Crop Sci.* 5, 70–79.
- Kega, V.M., Kasina, M., Olubayo, F., Nderitu, J.H. (2013). Management of *Maliarpha separata* rag using effective entomopathogenic nematodes and

- resistant rice cultivars. J. Entomol. 10, 103–109.
- Kogan, M. (1994). Plant resistance in pest management. *Introd. Insect Pest Manag.* 3, 73–118.
- MAAH, 2018. Rapport général sur la lutte contre la chenille légionnaire au Burkina Faso, campagne 2018-2019, 14P.
- Malausa J.C. et Marival D. (1981). Etude de la dynamique des populations de chenille de *Spodoptera frugiperda* abbot & Smith et de *Heliothis zea* Boddie (Lepidoptera : Noctuidae) sur deux variétés de maïs en Guadeloup (Antilles Françaises). *Agronomie, EDP sciences*, 1981, 1 (8), pp.701-706. Hall-00884313.
- Midega, C. A. O., Pittchar, J. O., Pickett, J. A., Hailu, G. W., & Khan, Z. R. (2018). A climate-adapted push-pull system effectively controls fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J E Smith), in maize in East Africa. *Crop Protection*, 105(November 2017), 10–15. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.11.003>
- Mkangwa, Z. C., Ngowo, V., Mdangi, M., Mrosso, F. P., Magadula, J. J., Kilonzo, B. S., Sibuga, P. K. (2017). Farmers knowledge, attitude and perceptions on the use of locally available plant material to prevent rodent damage to maize crop in Eastern Tanzania. *African Journal of Agricultural Research*, 11(48), 4902–4910. <https://doi.org/10.5897/ajar2016.11715>
- Morrison, T.A., Jung, H.G., Buxton, D.R., Hatfield, R.D. (1998). Cell-wall composition of maize internodes of varying maturity. *Crop Sci.* 38, 455–460.
- Molina-Ochoa, J., Carpenter, J. E., Heinrichs, E. A., & Foster, J. E. (2006). Parasitoids and parasites of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas and Caribbean Basin: An Inventory. *Florida Entomologist*, 86(3), 254–289. [https://doi.org/10.1653/0015-4040\(2003\)086\[0254:papofsf\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1653/0015-4040(2003)086[0254:papofsf]2.0.co;2)
- Montezano, D. G., Specht, A., Sosa-Gómez, D. R., Roque-Specht, V. F., Sousa-Silva, J. C., Paula-Moraes, S. V. Hunt, T. E. (2018). Host Plants of *Spodoptera frugiperda* 110 (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas. *African Entomology*, 26(2), 286–300. <https://doi.org/10.4001/003.026.0286>
- Nurzannah, S.E., Girsang, S.S., Girsang, M.A., Effendi, R. (2020). Impact of climate change to fall armyworm attack on maize in Karo District, North Sumatera. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 484, 012111. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/484/1/012111>
- Oben, E. O., Ntonifor, N. N., Kekeunou, S., & Abbeytakor, M. N. (2015). Farmers knowledge and perception on maize stem borers and their indigenous control methods in south western region of Cameroon. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 11(1), 1–13. <https://doi.org/10.1186/s13002-015-0061-z>
- Perez-Alvarez, R., Nault, B. A., & Poveda, K. (2019). Effectiveness of augmentative biological control depends on landscape context. *Scientific Reports*, 9(1), 1–15. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-45041-1>
- Piovesan, M., Carneiro, E., Specht, A., & Casagrande, M. M. (2018). Where and when? How phenological patterns of Armyworm moths (Lepidoptera: Noctuidae) change along a latitudinal gradient in Brazil. *Bulletin of*

- Entomological Research*, 1–10. <https://doi.org/10.1017/s000748531800822>
- Prasanna, E. B., Huesing, J. E., Eddy, R., & Peschke, V. M. (2018). Fall Armyworm in Africa: A Guide for Integrated Pest Management, First Edition. Mexico, CDMX: CIMMYT. Retrieved from [www.maize.org](http://www.maize.org).
- Reynolds, T. W., Waddington, S. R., Anderson, C. L., Chew, A., True, Z., & Cullen, A. (2015). Environmental impacts and constraints associated with the production of major food crops in Sub-Saharan Africa and South Asia. *Food Security*, 7(4), 795–822. <https://doi.org/10.1007/s12571-015-0478-1>
- Shapiro, S.S., Wilk, M.B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika* 52, 591–611.
- Sisay, B., Simiyu, J., Malusi, P., Likhayo, P., Mendesil, E., Elibariki, N., Tefera, T. (2018). First report of the Fall Armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), natural enemies from Africa. *Journal of Applied Entomology*, 142(8), 800–804. <https://doi.org/10.1111/jen.12534>
- Sisay, B., Simiyu, J., Mendesil, E., Likhayo, P., Ayalew, G., Mohamed, S., Tefera, T. (2019). Fall Armyworm, *Spodoptera frugiperda* Infestations in East Africa: Assessment of Damage and Parasitism. *Insects*, 10(195), 1–10.
- Sisay, B., Tefera, T., Wakgari, M., Ayalew, G., & Mendesil, E. (2019). The Efficacy of Selected Synthetic Insecticides and Botanicals against Fall Armyworm, *Spodoptera frugiperda*, in Maize. *Insects*, 10(2), 45. <https://doi.org/10.3390/insects10020045>
- Tahirou, A., Sanogo, D., Langyintuo, A., Bamire, S. A., & Olanrewaju, A. (2009). Assessing the constraints affecting production and deployment of maize seed in DTMA countries of West Africa. In 2000 10th International Crimean Microwave Conference “Microwave and Telecommunication Technology”, CriMico 2000.
- Visagie, J. W. (2016). Efficacy of selected insecticides for control of stem borers in maize. (May), 103.
- Wiseman, B.R. (1994). Mechanisms of maize resistance to corn earworm and fall armyworm. *Insect Resist. Maize* 46.
- Yameogo, I.S., Ouattara, D., Dabire, R., Ki, A., Bationo, D., Agboyi, L., Gnankine, O., Kenis, M. and Nacro, S. (2023) Perception and Management Strategies of the Fall Armyworm, *Spodoptera frugiperda* J.E. Smith (1797) (Lepidoptera: Noctuidae) on Maize, Millet and Sorghum by Farmers in Western Burkina Faso. *Advances in Entomology*, 11, 204-222. <https://doi.org/10.4236/ae.2023.113015>
- Zhu, L., Ma, T., Mei, Y., & Li, Q. (2017). Enhancing the hydrolysis of corn starch using 123 optimal amylases in a high-adjunct-ratio malt mashing process. *Food Science and Biotechnology*, 26(5), 1227–1233. <https://doi.org/10.1007/s10068-017-0140-0>