

Efficacité en laboratoire et sur le terrain des cendres et de divers insecticides biorationnels sur la chenille légionnaire d'automne, *Spodoptera frugiperda* J. E. Smith (Lepidoptera, Noctuidae) au Bénin

Titre courant : **Effets de la cendre et des biorationnels sur *S. frugiperda***

Ghislain T. Tapa-Yotto^{1,2*}, Borghéro T.A. Dahoueto^{1,2}, Jeannette K. Winsou², Elodie A.F. Hounmakou^{1,2}, Abdel-Aziz D. Billa¹, Adèle Nonfodji¹, Floriane F.M. Honfo¹, Moufidath A. Akadiri¹, Paula Atta¹, Rodrigue Dass³, Ouorou Kobi Douro Kpindou²

Résumé

Découverte en 2016, la chenille légionnaire d'automne est largement répandue de nos jours en Afrique, causant des dommages importants au maïs. Les cendres en poudre et en solution de deux espèces de bois de feu, *Acacia auriculiformis* et *Zanthoxylum zanthoxyloides*, la cendre ordinaire de cuisine et huit espèces de plante notamment, *Azadirachta indica*, *Vernonia amygdalina*, *Hyptis suaveolens*, *Nicotiana tabacum*, *Carica papaya*, *Ocimum basilicum*, *Jatropha curcas*, *Ricinus communis*, à propriété insecticide, ont été testées pour leur efficacité sur les larves, les oeufs de la CLA au laboratoire et au champ. Les matières et les doses testées ont varié suivant les conditions et les sites d'expérimentation. Au laboratoire, la cendre en poudre de *Z. zanthoxyloides* et la solution de cendre de *A. auriculiformis* ont le plus réduit l'éclosion des œufs de $3,87 \pm 0,7 \%$ et de $11,14 \pm 2,1 \%$ respectivement. Sur les larves L1 et L2, l'huile de neem a induit le meilleur taux de mortalité des larves de $99 \pm 0,1 \%$ et $94 \pm 0,2 \%$, respectivement. Au champ et sur les deux sites, les traitements *Vernonia+Jatropha*, *H. suaveolens* et *A. indica* ont engendré les taux élevés de réduction de la densité des larves et des dommages infligés aux plants. Les cendres et les extraits de plante testés n'ont eu aucun effet sur la présence des ennemis naturels, forficule, coccinelle et fourmi, montrant ainsi qu'ils peuvent être utilisés comme composants dans les programmes de lutte intégrée contre la CLA.

Mots clés : plantes insecticides, lutte intégrée, *Spodoptera frugiperda*, maïs.

Abstract

Effects of ash and some biorational insecticides on the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* J. E. Smith (Lepidoptera: Noctuidae) under laboratory and field conditions in Benin

Discovered in 2016, the fall armyworm is now widespread in Africa, causing significant damage to maize. The ashes in powder and solution of two species of fuelwood, *Acacia auriculiformis*, *Zanthoxylum zanthoxyloides*, ordinary kitchen ash and eight species of plant, notably, *Azadirachta indica*, *Vernonia amygdalina*, *Hyptis suaveolens*, *Nicotiana tabacum*, *Carica papaya*, *Ocimum basilicum*, *Jatropha curcas*, *Ricinus communis* with insecticidal properties were tested for their efficacy on FAW under laboratory and field conditions. The materials and doses tested varied according to the conditions and the sites of the experiment. In the laboratory, *Z. zanthoxyloides* ash powder and *A. auriculiformis* ash solution highly reduced egg hatching: $3,87 \pm 0,7 \%$ and $11,14 \pm 2,1 \%$, respectively. In first and second instar larvae, neem oil induced the best larval mortality rate of $99 \pm 0,1 \%$ and $94 \pm 0,2 \%$, respectively. On-station experiments on the experimental seed production farm in Ketou and at IITA revealed high level of plant extracts effect on FAW. In the field and on both study sites, *Vernonia-Jatropha*, *H. suaveolens* and *A. indica* treatments showed the best rates of larval reduction and lower plant damage. The presence of predatory arthropods in all field treatments shows that the ash and plant extracts tested are compatible with the activity of the natural enemies (earwig, ladybug and ant) and can be used in an integrated pest management program.

Key-words : insecticidal plants, integrated pest management, *Spodoptera frugiperda*, maize.

¹Ecole de Gestion et de Production Végétale et Semencière (EGPVS), Université Nationale d'Agriculture (UNA), 43 Kétou, Bénin
²Biorisk Management Facility (BIMAF), Institut International d'Agriculture Tropicale (IITA-Bénin), 08-01000 Cotonou, Bénin

³Ecole d'Horticulture et d'Aménagement des Espaces Verts (EHAEV), Université Nationale d'Agriculture (UNA), 43 Kétou, Bénin

*Correspondance : g.tepayotto@gmail.com

Introduction

La chenille légionnaire d'automne (CLA) *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera : Noctuidae), originaire d'Amérique tropicale et subtropicale, est un insecte polyphage qui cause d'énormes dégâts (Ayala *et al.*, 2013 ; Early *et al.*, 2018 ; Prasanna *et al.*, 2018). Après sa détection pour la première fois en Afrique en 2016 (Goergen *et al.*, 2016), elle s'est bien établie de nos jours dans toute l'Afrique sub-saharienne (Prasanna *et al.*, 2018). Les larves de la CLA sont les principaux ravageurs des céréales et des graminées fourragères et peuvent s'alimenter sur 186 espèces végétales de 42 familles (Casmuz Augusto *et al.*, 2010). La CLA est l'un des ravageurs les plus redoutables du maïs dans son

aire de répartition d'origine. En plus du maïs, elle attaque de nombreuses autres espèces d'importance économique comme le riz, le sorgho, le coton et les herbes de pâturage (Abrahams *et al.*, 2017 ; Day *et al.*, 2017 ; Van der Gaag & Van der Straten, 2017). Les pertes de rendement dues à la CLA peuvent atteindre 8,3 à 20,6 millions de tonnes de maïs par an en l'absence de méthodes de lutte efficace. Ceci représente 21 à 53% de la production annuelle moyenne de maïs sur une période de trois ans dans 12 pays africains, gros producteurs de maïs (Day *et al.*, 2017 ; Toepfer *et al.*, 2018). En raison de sa propagation rapide et de sa capacité à causer des dommages sur plusieurs cultures, la CLA menace sérieusement la sécurité alimentaire et nutritionnelle ainsi que la subsistance des ménages agricoles (Prasanna *et al.*, 2018).

Au Bénin, le maïs (*Zea mays* L.) est cultivé sur toute l'étendue du territoire et occupe la première place des céréales (MAEP, 2010). Il constitue l'aliment de base au sud du pays avec une diversité de formes de consommation (pâte de maïs, maïs grillé, maïs frais) (Arouna *et al.*, 2011).

Les méthodes de lutte qu'utilisent les producteurs dans le monde reposent sur les produits chimiques de synthèse. Une mauvaise application des pesticides peut entraîner des effets néfastes sur la santé humaine et sur l'environnement. Egalement, elle peut infliger des dommages aux populations d'insectes bénéfiques et, pourrait entraîner une augmentation de la pression de la population de ravageurs et des dégâts qu'ils causent aux plantes (Schrack *et al.*, 2009 ; Prasanna *et al.*, 2018). Au Bénin, jusqu'à ce jour aucun véritable programme phytosanitaire n'a été mis au point pour la protection du maïs au champ. Pour le contrôle de ce ravageur vorace (*S. frugiperda*), il urge de développer des méthodes de lutte durable.

Les propriétés insecticides d'une grande diversité de plantes ont été rapportées et quelques-unes de ces plantes ont été utilisées dans la gestion de la CLA dans son aire de répartition d'origine (Tavares *et al.*, 2010 ; Ramos-López *et al.*, 2010 ; Bullangpoti *et al.*, 2012). Les pesticides botaniques sont biodégradables et présentent très peu de risques pour l'environnement et pour la santé des producteurs et des consommateurs (Prasanna *et al.*, 2018). Ces pesticides sont pour la plupart sans danger pour les ennemis naturels et donc compatibles à une stratégie de lutte intégrée axée sur la lutte biologique. Plusieurs plantes insecticides ont révélé leur efficacité contre les foreurs de tige en Afrique (Mugisha-Kamatanesi *et al.*, 2008 ; Ogenko *et al.*, 2013 ; Stevenson *et al.*, 2017). La diversité de ces plantes pourrait également offrir des opportunités d'utilisation contre la CLA pour les petits producteurs. La présente étude se propose d'évaluer les effets de la cendre et de quelques espèces de plantes notamment, *Azadirachta indica*, *Vernonia amygdalina*, *Hyptis suaveolens*, *Nicotiana tabacum*, *Carica papaya*, *Ocimum basilicum*, *Jatropha curcas*, *Ricinus communis* à propriété insecticide (huile et extrait) sur la chenille légionnaire d'automne.

2- Matériel et méthodes

2.1- Milieux d'étude

De septembre à novembre des années 2019-2020, des tests d'efficacité de la cendre et des biorationnels ont été menés dans deux localités au Bénin, notamment, à la station de l'Institut International d'Agriculture Tropicale (IITA-Bénin) (06°25,002 N et 002°19,842 E) et sur la ferme semencière d'Akpambahou dans la commune de Kétou (07°18,3299 N et 002°36,8180 E). Les essais portant sur la cendre (laboratoire et champ) ont été conduits à l'IITA, commune d'Abomey-calavi. Les conditions expérimentales au laboratoire ont été de 26 ± 1 °C, 70 ± 5% HR et sous une photopériode de 12 :12 (L : D). Les conditions climatiques moyennes en 2019 en milieu réel sur la station ont été de 239,4 ± 74,6 mm de pluie et de 26,47 ± 0,5 °C de température. Sur la ferme semencière à Kétou, les conditions climatiques moyennes en 2020 ont été de 120 ± 7 mm de pluie et de 27 ± 1 °C.

2.2- Matériel entomologique et botanique

2.2.1- Larves de *Spodoptera frugiperda* utilisées

L'élevage des larves de *S. frugiperda* utilisées, a été fait au laboratoire d'élevage de l'IITA-Bénin. Les chrysalides issues des larves élevées dans le laboratoire, ont été mises dans des boîtes plastiques (Ø = 17 cm ; h = 9,5 cm) désinfectées à l'eau de javel 0,5%. De ces chrysalides, ont émergé des adultes de *S. frugiperda*. Après émergence, ces adultes nourris au miel, ont pondus des œufs et ont été suivis quotidiennement jusqu'à leur mort. Les boîtes de ponte ont été renouvelées tous les trois jours et les œufs pondus par les femelles ont été collectés. Les œufs ont été incubés et les néonates issues de l'éclosion de ces œufs, ont poursuivi le cycle larvaire qui s'est différencié en 6 stades au bout de 14 à 21 jours. Elles ont été nourries avec des feuilles fraîches issues du maïs pré-germé. Les œufs et les larves utilisés pour les essais sont de la deuxième génération.

2.2.2- Poudres et solutions de plantes insecticides utilisées au laboratoire

Des feuilles, graines ou branches des espèces de plantes (Tableau I) utilisées ont été prélevées à la station de l'IITA-Bénin. Elles ont été séchées et incinérées séparément dans des fourneaux (sans utilisation de pétrole). Les cendres ont été collectées, tamisées puis conservées dans des tubes en verre.

La poudre a été appliquée directement sur les larves et les solutions l'ont été à l'aide d'un pulvérisateur à main (Pulvérisateur à gachette, Système U Bp 30159 – 94533 Rungis cedex) dans les boîtes. Les doses appliquées sur 10 larves étaient de 5 g de cendre pour les poudres et de 5 g de cendre diluée dans 100 ml d'eau pour les solutions.

Pour les oeufs de la CLA, 10 boîtes contenant 10 œufs chacune ont été mises en place. Huit (8) répétitions ont été faites. Quant aux larves L1 et L2, 10 boîtes contenant chacune une larve ont été disposées. Dix (10) répétitions ont été faites. Les boîtes utilisées avaient une dimension de 3 cm de diamètre et 3,5 cm de hauteur. De petits trous ont été faits sur les couvercles pour faciliter l'aération.

Espèce de plante	Nom commun	Famille	Formulation utilisée	Organe utilisé
<i>Acacia auriculiformis</i>	Acacia	Fabaceae	Poudre et solution de la poudre	Branches
<i>Zanthoxylum zanthoxyloides</i>	Fagara jaune	Rutaceae	Poudre et solution de la poudre	Branches
<i>Jatropha curcas</i>	Pourghète	Euphorbiaceae	Huile	Graines
<i>Azadirachta indica</i>	Neem	Meliaceae	Huile	Graines
<i>Vernonia</i> sp.	Vernonie	Asteraceae	Extrait	Feuilles
<i>Ricinus communis</i>	Ricin	Euphorbiaceae	Huile	Graines

Tableau I : Espèces de plantes et formulations utilisées au laboratoire

2.3- Mise en place des essais, préparation et pulvérisation des biorationnels en milieu réel

Les expérimentations ont été mises en place sur deux sites, notamment, les parcelles expérimentales de l'IITA-Bénin et la ferme semencière de l'Université Nationale d'Agriculture (UNA) située à Kétou.

- Dans les parcelles expérimentales de l'IITA-Bénin

L'essai a été installé pendant la grande saison de pluie de septembre à novembre 2019. Au total, quatre traitements (cendre 3 g, cendre 6 g, vernonia (125 g de feuille) + jatropha (20 ml d'huile) et le témoin) ont été randomisés dans un dispositif de bloc aléatoire complet avec quatre répétitions. Le maïs a été semé à 3 graines puis démarré à 01 plant à des écartements de 80 cm entre les lignes et 40 cm entre poquets. Le semis a été fait sur des parcelles expérimentales de 20 m x 10 m et séparé les uns des autres par une distance de 10 m. Chaque bloc a occupé une superficie de 2925 m² soit 11700 m² pour tout l'essai. Une distance de 30 m a séparé les différents blocs. La variété extra-précoce de maïs 2000 Syn EE W (80 jours) a été évaluée. La cendre utilisée est une cendre de bois ordinaire collectée auprès des ménages. Elle a été tamisée pour débarrasser les bouts de bois et de pierres. Le désherbage a été fait au besoin. Une quantité de 288 g d'engrais granulaire NPK (N :14 ; P :18 ; K :18 ; S :6 ; B :1), soit 100 kg/ha et une quantité de 144 g d'Urée (46% N), soit 50 kg/ha ont été appliquées deux semaines après la levée et deux semaines après l'application d'NPK, respectivement

- A la ferme semencière à Kétou

Le dispositif expérimental adopté était un bloc aléatoire complet. Chaque bloc comportait trois (03) traitements. Dans chacun des trois traitements, la dose standard (traitement T1 : 10kg de feuilles fraîches/ha), la demi-dose de la dose standard (traitement T2 : 5kg de feuilles fraîches/ha) et le témoin (traitement T0 : aucun traitement) sont répétés trois fois. La distance entre parcelles élémentaires d'un même bloc était de 10 m et celle entre bloc était de 30 m. Chaque traitement couvrait une superficie de 1,28 m². Le semis a été fait dans des pots plastiques à raison de 3 graines par pot, puis démarré à 1 plant et alignés de sorte à avoir un écartement de 40 cm entre pots et 80 cm entre lignes. L'expérimentation a occupé une superficie de 1 547,52 m² avec 62,4 m de longueur et 24,8 m de largeur. L'essai a été installé pendant la petite saison de pluie de septembre à novembre 2020. La variété extra-précoce de maïs 2000 Syn EE W (80 jours) a été évaluée. Le désherbage a été fait au besoin. Une quantité de 288 g d'engrais granulaire NPK (N :14 ; P :18 ; K :18 ; S :6 ; B :1), soit 100 kg/ha et une quantité de 144 g d'Urée (46% N), soit 50 kg/ha ont été appliquées deux semaines après la levée et deux semaines après l'application d'NPK, respectivement.

- Préparation des extraits

La préparation des extraits aqueux à base de feuilles fraîches des différentes espèces de plante (Tableau II) se résume comme suit : les feuilles fraîches ont été pesées : 9,6 g/30 plants et 4,8 g/30 plants (respectivement pour les traitements T1 et T2). Elles ont été ensuite rincées et laissées égoutter puis pilées dans un mortier préalablement lavé. Le broyat a été mélangé à 120 ml d'eau puis filtré. Le filtrat qu'est l'extrait est prêt à être utilisé. Ce mode opératoire a été observé pour la préparation des extraits de chaque espèce de plante.

Tableau II : Liste des espèces de plantes utilisées en milieu réel

Espèce de plante	Famille	Nom vernaculaire
<i>Azadirachta indica</i> A.	Meliaceae	Neem
<i>Vernonia amygdalina</i> D.	Asteraceae	Vernonie
<i>Hyptis suaveolens</i> L.	Lamiaceae	Chan
<i>Nicotiana tabacum</i> L.	Solanaceae	Tabac
<i>Carica papaya</i> L.	Caricaceae	Papayer
<i>Ocimum basilicum</i> L.	Lamiaceae	Basilic

- Pulvérisation des extraits

Un pulvérisateur à gâchette à jet réglable a été utilisé. La pulvérisation a été faite lorsque le seuil d'intervention de 10% de plants infestés (plants portant des amas d'œufs et ou des jeunes chenilles) ou endommagés est atteint dans au moins une des parcelles élémentaires. La CLA est une noctuelle dont les larves sortent du cœur des plantes au crépuscule et s'alimente sur elles jusqu'à l'aube du jour suivant en y laissant des excréments. Pour cela, la pulvérisation est faite à partir de 18 h 00 dans le cœur des plantes et sur les faces inférieures et supérieures des feuilles. En cas de pluie après l'application, la pulvérisation est répétée le lendemain.

2.4- Collecte des données

- Au laboratoire

Les données ont été collectées chaque 24 heures, pendant 10 jours. Les paramètres considérés étaient l'éclosion des œufs et la mortalité des larves.

- Au champ

Les données ont été collectées à partir d'une semaine après la levée du maïs et tous les trois jours jusqu'à la fin du cycle phénologique du maïs. Les données ont été collectées sur 30 plants et 10 plants/traitement (parcelle élémentaire), sélectionnés au hasard, pour les essais à la station de l'IITA-Bénin et sur la ferme semencière d'Akpambahou respectivement. Les paramètres suivants ont été considérés : nombre de chenilles par plant, les dégâts de la CLA. L'estimation des dégâts a été faite à l'aide des échelles de Davis et Williams (1992) ajustées par Prasanna *et al.* (2018) : les plants présentant un score/ dégât ≥ 4 ont été considérés lors des analyses. Le nombre d'insectes prédateurs par plant (les forficules, les coccinelles et les fourmis) a été également observé.

2.5- Analyse statistique des données

Pour les données issues du champ, la somme du nombre de larves comptées tous les 3 jours a été utilisée pour tracer les figures et faire l'analyse statistique. Quant aux données issues du laboratoire ce sont les moyennes des répétitions qui ont été utilisées pour faire les analyses et tracer les courbes. L'analyse statistique des paramètres mesurés a été faite avec le logiciel statistique R version (3.6.1.). Les données ont été analysées sur la base d'un modèle linéaire d'analyse des variances (ANOVA). Le test de Tukey a permis de séparer les moyennes au seuil de 5% lorsque l'analyse de variance montre une différence significative.

3- Résultats

3.1- Effets des cendres et des biorationnels au laboratoire

3.1.1- Sur les œufs de *S. frugiperda*

La poudre de *Z. zanthoxyloides* a le plus réduit l'éclosion

des œufs avec un taux moyen d'éclosion de $3,87 \pm 0,7 \%$ suivie de la solution d'*Acacia auriculiformis*, de la solution de *Z. zanthoxyloides* et de la poudre d'*A. auriculiformis* avec des taux d'éclosion respectifs de $11,14 \pm 2,1 \%$, $18,12 \pm 4,8 \%$ et $18,62 \pm 4,9 \%$. Le témoin a enregistré le taux moyen d'éclosion le plus élevé ($45,12 \pm 5,6 \%$) (Figure 1). L'analyse de variances (ANOVA) montre qu'il y a une différence significative dans l'éclosion des œufs ($ddl = 8$; $F = 9,98$; $p = 8,23 \cdot 10^{-09}$) après l'application des traitements (Tableau III). Le test de Tukey-HSD a révélé que la poudre de *Z. zanthoxyloides* a été plus efficace dans la réduction de l'éclosion des œufs de la CLA que celle de *A. auriculiformis*.

Tableau III : Analyse de variances du taux moyen d'éclosion des œufs de *Spodoptera frugiperda*

	ddl	Somme des carrées des écarts (Sum sq)	Carré moyen (Mean sq)	F-value	Pr(>F)
Biorationnel	8	7925,0	990,63	9,9842	$8,234 \cdot 10^{-09***}$
Erreur	62	6151,6	99,22		

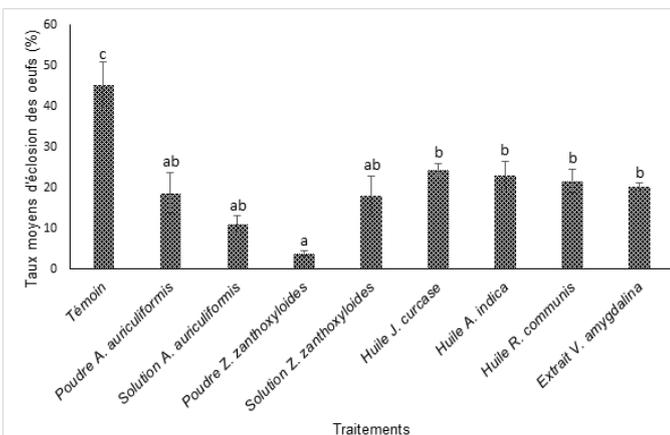


Figure 1 : Effets des cendre et des biorationnels utilisés sur les taux moyens d'éclosion des œufs de la CLA au laboratoire

3.1.2- Sur les larves de *S. frugiperda*

Le taux de mortalité moyen des larves de la CLA a significativement été différent entre les traitements ($ddl = 8$; $F = 13,29$; $p = 1,094 \cdot 10^{-14}$) (Tableau IV). L'huile de neem a causé les mortalités des larves les plus élevées sur les deux stades de larve ($99 \pm 0,1 \%$ L1 et $94 \pm 0,2 \%$ L2), suivie de l'huile de jatropha ($87 \pm 0,3 \%$ L1 et $70 \pm 1,0 \%$ L2), l'huile de ricin ($78 \pm 0,4 \%$ L1 et $69 \pm 0,7 \%$ L2) et la solution de cendre de *Z. zanthoxyloides* ($79 \pm 0,4 \%$ L1 et $50 \pm 0,8 \%$ L2). La poudre d'*A. auriculiformis* ($43 \pm 0,6 \%$ L1 et $57 \pm 0,9 \%$ L2) et l'extrait de *V. amygdalina* ($48 \pm 0,7 \%$ L1 et $53 \pm 0,6 \%$ L2) ont causé les faibles taux de mortalité qui ne sont pas significativement différents entre eux et le témoin ($34 \pm 0,2 \%$ L1 et $55 \pm 0,6 \%$ L2) (Figure 2).

Tableau IV : Analyse des variances du taux moyen de mortalité des larves de *Spodoptera frugiperda*

	ddl	Somme des carrées des écarts (Sum sq)	Carré moyen (Mean sq)	F-value	Pr(>F)
Biorationnel	8	442,81	55,351	13,2981	$1,094 \cdot 10^{-14***}$
Hôte	1	2,45	2,450	0,5886	0,4440
Biorationnel:Hôte	8	92,50	11,563	2,7779	0,0066**
Erreurs	162	674,30	4,162		

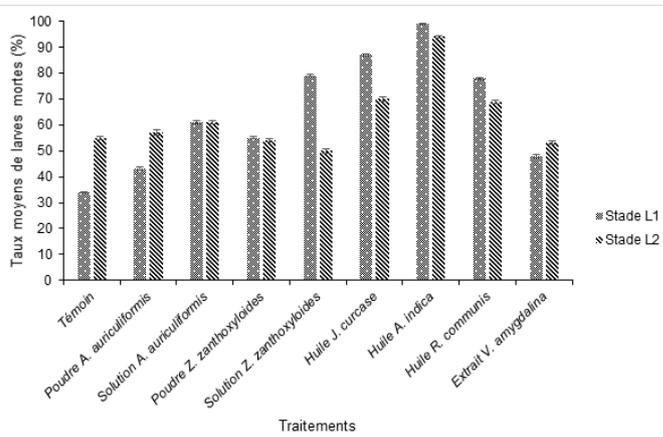


Figure 2 : Taux moyen de mortalité des larves de la CLA après application des biorationnels au laboratoire

3.2- Effets de la cendre et des biorationnels en milieu réel

3.2.1- Sur la station IITA-Bénin

- Effets de la cendre et des biorationnels sur les larves de *S. frugiperda*

Les résultats de l'analyse statistique présentés dans le tableau V indiquent des différences significatives sur la fluctuation des larves de la CLA durant les jours de collecte ($ddl = 10$; $F = 15,20$; $p = 2,2 \cdot 10^{-16***}$) et sur l'interaction entre la dose et la date ($ddl = 30$; $F = 3,70$; $p = 1,08 \cdot 10^{-07***}$). Il n'y a aucune différence significative entre les différentes doses appliquées ($ddl = 3$; $F = 2,35$; $p = 0,07$). Le traitement Témoin et la cendre 3 g ont enregistré le nombre de larves le plus élevé (147 et 159 larves), le traitement Vernonia+Jatropha a enregistré le moins (86 larves). Le nombre de larves le plus élevé (137 larves) a été enregistré au 7^e jour après levée (JAL) et le faible (00 et 00 larve) aux 31^e et 34^e JAL (Figure 3).

Tableau V : Analyse de variances du nombre de chenille entre les doses, les dates et leur interaction

	ddl	Somme des carrées des écarts (Sum sq)	Carré moyen (Mean sq)	F-value	Pr(>F)
Dose	3	69,84	23,28	2,3503	0,075
Date	10	1506,35	150,635	15,2075	$2,2 \cdot 10^{-16***}$
Dose*Date	30	1100,28	36,676	3,7027	$1,085 \cdot 10^{-07***}$
Erreur	132	1307,5	9,905		

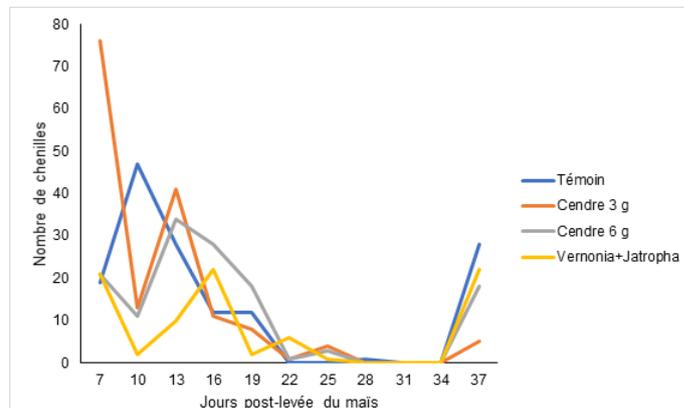


Figure 3 : Evolution temporelle du nombre total de chenilles sous l'effet des traitements (Cendre 3 g, Cendre 6 g et Vernonia+Jatropha) sur la station IITA-Bénin.

- Effets de la cendre et des biorationnels sur l'incidence des dégâts

Les dommages infligés aux plants par les larves de CLA ont, d'une part, été hautement significatifs entre les différentes doses appliquées (ddl = 3 ; F = 11,82 ; p = 6,532*10^{-07***}) et hautement significatifs entre les jours de collecte (ddl = 10 ; F = 4,22 ; p = 4,191*10^{-05***}), d'autre part. Aussi, l'interaction entre les doses et la date a significativement été différente (ddl = 30 ; F = 2,15 ; p = 0,0016**) (Tableau VI). Le test de TukeyHSD a montré que les traitements témoin et la cendre 6 g ont présenté un nombre de plants avec des dommages foliaires importants (1075 et 1040 plants) causés par les larves de CLA par rapport aux traitements Vernonia+Jatropha (800 plants) et cendre 3 g (893 plants) qui ont présenté moins de dommages. Les dégâts les plus élevés ont été enregistrés au 31^e JAL. Les dégâts ont varié suivant l'abondance des larves (Figure 4).

Tableau VI : Analyse de variances des dégâts dus à la CLA entre les doses, les dates et leur inercation

	Ddl	Somme des carrées des écarts (Sum sq)	Carré moyen (Mean sq)	F-value	Pr(>F)
Dose	3	1124	374,68	11,8278	6,532*10 ^{-07***}
Date	10	1339,2	133,92	4,2276	4,191*10 ^{-05***}
Dose*Date	30	2050	68,33	2,1571	0,0016**
Erreur	132	4181,5	31,68		

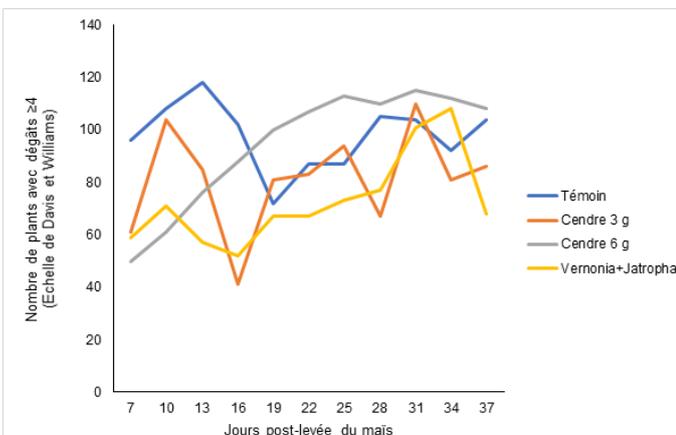


Figure 4 : Evolution temporelle des dégâts dus à la CLA sur les plants de maïs sous l'effet des traitements sur la station IITA-Bénin

- Effets de la cendre et des biorationnels sur les ennemis naturels (prédateurs) de la CLA
- Coccinelles

Le tableau VII présente l'analyse de variances des traitements et des jours de collecte sur les coccinelles. L'analyse révèle qu'il n'y a pas de différence significative entre les facteurs dose (ddl = 3 ; F = 0,28 ; p = 0,83) et date (ddl = 10 ; F = 0,97 ; p = 0,47) étudiés.

Le traitement témoin a enregistré le nombre total de coccinelle le plus élevé (20 coccinelles) suivi du traitement Vernonia+Jatropha et Cendre 3 g qui ont enregistré le même cumul (16 coccinelles) (Figure 5).

Tableau VII : Analyse de variances du nombre de coccinelle entre les doses, les dates et leur inercation

	Ddl	Somme des carrées des écarts (Sum sq)	Carré moyen (Mean sq)	F-value	Pr(>F)
Traitements	3	1,159	0,386	0,2823	0,83
Date	10	13,284	1,328	0,9706	0,47
Erreur	162	221,716	1,368		

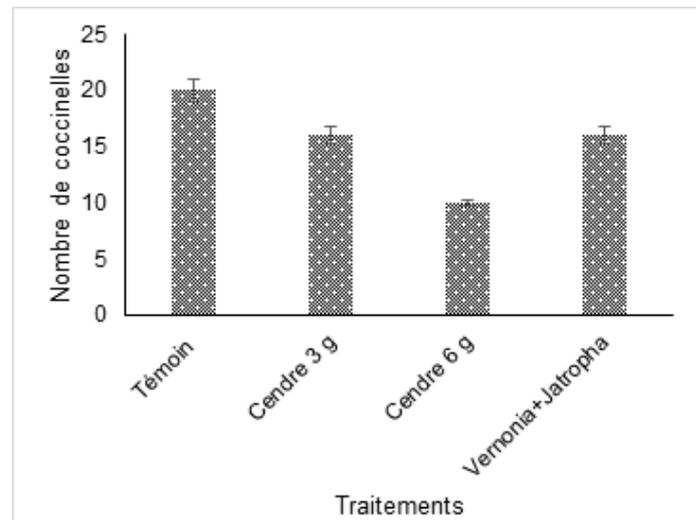


Figure 5 : Nombre total de coccinelles sous l'effet des produits utilisés (Cendre 3 g, Cendre 6 g et Vernonia+Jatropha) à la Station IITA-Bénin

- Fourmis

Le nombre de fourmi n'a pas varié de manière significative entre les différents traitements (ddl = 3 ; F = 0,45 ; p = 0,71). Une différence a été observée entre les jours de collecte (ddl = 10 ; F = 2,32 ; p = 0,013*) (Tableau VIII). Le nombre de fourmis le plus élevé a été collecté au 37^e JAL. Le traitement Vernonia+Jatropha a enregistré le nombre de fourmis le plus élevé (50 fourmis) suivi des traitements témoin et cendre 3 g (43 et 42 fourmis, respectivement). Le traitement cendre 6 g a enregistré vingt fourmis correspondant au nombre le plus faible (Figure 6).

Tableau VIII : Analyse de variances du nombre de fourmis entre les doses, les dates et leur inercation

	ddl	Somme des carrées des écarts (Sum sq)	Carré moyen (Mean sq)	F-value	Pr(>F)
Dose	3	11,52	3,839	0,4504	0,717
Date	10	198,06	19,805	2,3235	0,013*
Erreur	162	1380,92	8,524		

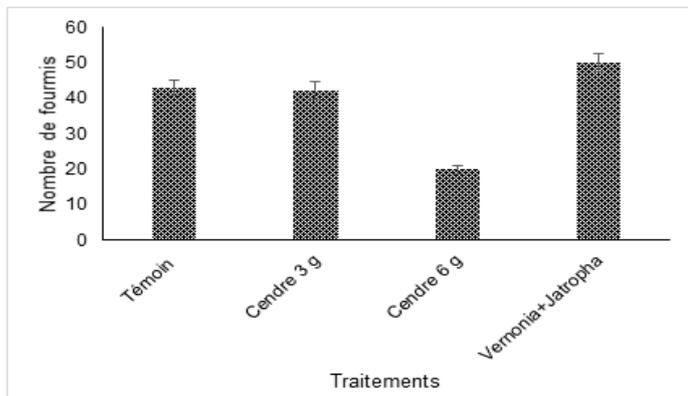


Figure 6 : Nombre total de fourmis sous l'effet des produits utilisés (Cendre 3 g, Cendre 6 g et Vernonia+Jatropha) à la Station IITA-Bénin.

3.2.2- A la ferme semencière de Kétou

- Effet de la cendre et des biorationnels sur les larves

Les résultats de l'analyse statistique indiquent des différences hautement significatives en ce qui concerne l'effet des biopesticides sur les larves de la CLA (ddl= 5 ; F= 32,91 ; p= 2,2*10^{-16***}), les doses appliquées (ddl= 2 ; F= 66,43 ; p= 2,2*10^{-16***}) et les jours de collecte (date) (ddl= 11 ; F= 7,99 ; p= 1,107*10^{-12***}). Également, toutes les interactions des facteurs (Biopesticide-Dose ; Biopesticide-Date ; Dose-Date ; Biopesticide-Dose-Date) présentent des différences hautement significatives (ddl = 10 ; F = 17,69 ; p = 2,2*10^{-16***} ; ddl = 53 ; F = 3,77 ; p = 1,157*10^{-14***} ; ddl = 22 ; F = 4,41 ; p = 4,378*10^{-10***} ; ddl = 106 ; F = 2,13 ; p = 5,864*10^{-08***}, respectivement) (Tableau IX).

	ddl	Somme des carrés des écarts (Sum sq)	Carré moyen (Mean sq)	F-value	Pr(>F)
Biopesticides	5	751,04	150,209	32,9188	2,2*10 ^{-16***}
Dose	2	606,26	303,132	66,4327	2,2*10 ^{-16***}
Date	11	401,22	36,474	7,9935	1,107*10 ^{-12***}
Biopesticide * Dose	10	807,37	80,737	17,6938	2,2*10 ^{-16***}
Biopesticide * Date	53	913,40	17,234	3,7769	1,157*10 ^{-14***}
Dose * Date	22	443,18	20,144	4,4147	4,378*10 ^{-10***}
Biopesticide * Dose * Date	106	1031,36	9,730	2,1323	5,864*10 ^{-08***}
Erreur	418	1907,33	4,563		

Tableau IX: Analyse de variances du nombre de larves en fonction des biopesticides, des doses, des dates et de leurs interactions.

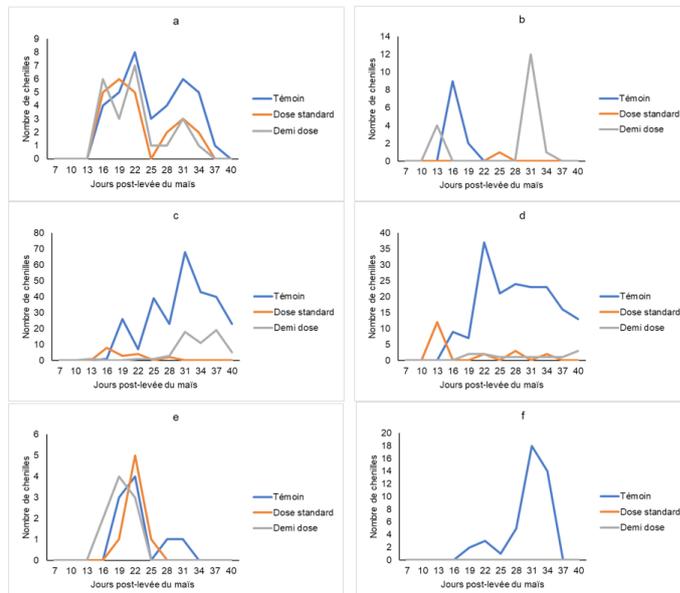


Figure 7 : Evolution temporelle du nombre total de larves sous l'effet des biopesticides : a : *A. indica* ; b : *H. suaveolens* ; c : *N. tabacum* ; d : *V. amygdalina* ; e : *C. papaya* ; f : *O. basilicum* à la ferme semencière de Kétou.

Le test de Tukey-HSD a révélé que le nombre de larve le plus élevé a été enregistré pour le biopesticide tabac (68 larves/30 plants) au 31^e jour après levée (JAL) sur le témoin (Figure 7c) et le faible (0 larve/30 plants) sur le témoin du biopesticide papayer du 7^e au 19^e JAL (Figure 7e). Des trois traitements, les nombres élevés de larves ont été enregistrés pour le témoin (36, 270, 173 et 43 larves/30 plants, pour les figures 7a, 7c, 7d et 7e, respectivement). La dose standard et la demi dose ont enregistré les faibles nombres de larves allant de 0 larve/30 plants (Figure 7e) à 55 larves/30 plants (Figure 7c). Tout au long de la collecte des données, les plus grands nombres de larves 68 et 43 larves/30 plants (Figure 7c), 18 et 14 larves/30 plants (Figure 7e) ont été enregistrés au 31^e et 34^e me JAL et les faibles (0 larve/30 plants) au 1^{er} jour de collecte sur les parcelles traitées avec le tabac et le basilic. Sur les parcelles traitées avec le vernonia, les plus grands nombres de larves 37 ; 21 ; 24 ; 23 et 23 larves/30 plants (Figure 7d) ont été enregistré du 22^e au 34^e JAL et les faibles (0 larve/30plants) aux premiers jours de collecte. Ces interactions ont montré que l'efficacité d'un biopesticide dépendait de la dose d'application.

- Effet de la cendre et des biorationnels sur les dégâts de la CLA

Les dommages induits aux plants par les larves de la CLA ont hautement été significatifs en ce qui concerne l'effet des biopesticides sur l'incidence de la CLA (ddl= 5 ; F= 164,12 ; p= 2,2*10^{-16***}), les doses appliquées (ddl= 2 ; F= 173,11 ; p= 2,2*10^{-16***}) et les jours de collecte (date) (ddl= 11 ; F= 40,57 ; p= 2,2*10^{-16***}). Aussi, toutes les interactions (Biopesticide-Traitement ; Biopesticide-Date ; Traitement-Date ; Biopesticide-Traitement-Date) présentent des différences significatives (ddl = 10 ; F = 24,89 ; p = 2,2*10^{-16***} ; ddl = 53 ; F = 4,34 ; p = 2,2*10^{-16***} ; ddl = 22 ; F = 14,34 ; p = 2,2*10^{-16***} ; ddl = 106 ; F = 1,48 ; p = 0,003^{**}, respectivement) (Tableau X). Le test de Tukey-HSD a révélé que les biopesticides à base de *H. suaveolens* et de *A. indica* sont significativement différents des autres et ont le plus réduit l'incidence de la CLA (1,5 plants et 22 plants dont les dégâts ≥ 4, respivement) suivis de ceux à base du *N. tabacum* (33,5 plants dont les dégâts ≥ 4) et du *C. papaya* (35 plants dont les dégâts ≥ 4). *Ocimum basilicum* et *V. amygdalina* ont affiché les faibles réductions des dégâts (71 et 198 plants dont les dégâts ≥ 4,

respectivement). Le traitement standard a le plus réduit les dégâts dus à la CLA suivi de la demi dose. Le témoin a enregistré les dégâts les plus importants et cela au 31e et 34e JAL (Figure 8).

Tableau X : Analyse de variances des dégâts dus à la CLA en fonction des biopesticides, des doses, des dates et de leurs interactions.

	ddl	Somme des carrés des écarts (Sum sq)	Carré moyen (Mean sq)	F-value	Pr(>F)
Biopesticide	5	1743,6	348,72	164,1248	2,2*10 ^{-16***}
Traitement	2	735,66	367,83	173,1191	2,2*10 ^{-16***}
Date	11	948,26	86,21	40,5728	2,2*10 ^{-16***}
Biopesticide * Traitement	10	528,87	52,89	24,8914	2,2*10 ^{-16***}
Biopesticide * Date	53	488,89	9,22	4,3414	2,2*10 ^{-16***}
Traitement * Date	22	670,67	30,49	14,3478	2,2*10 ^{-16***}
Biopesticide * Traitement * Date	106	335,3	3,16	1,4888	0,003**
Erreur	418	888,13	2,12		

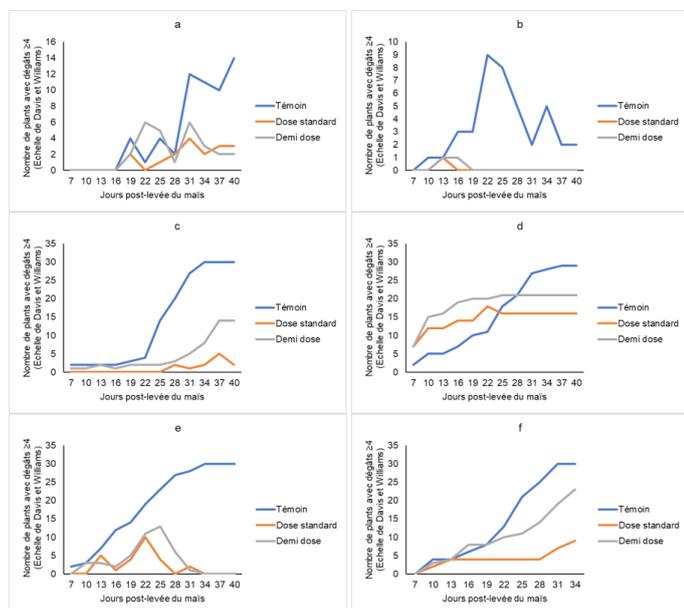


Figure 8 : Evolution temporelle des dégâts dus à la CLA sous l'effet des biopesticides ; a : *A. indica* ; b : *H. suaveolens* ; c : *N. tabacum* ; d : *V. amygdalina* ; e : *C. papaya* ; f : *O. basilicum* à la ferme de Kétou.

- Effet des biorationnels sur les ennemis naturels (prédateurs) de la CLA
 - Forficules

Les résultats de l'analyse de variances présentés dans le tableau XI révèlent une différence significative pour la fluctuation des forficules prédatrices de la CLA sur les biopesticides (ddl = 5 ; F = 143,65 ; p = 2,2*10^{-16***}), les différents traitements (ddl= 2; F = 14,07; p= 1,21*10^{-06***}) et selon les jours de collecte (ddl= 11 ; F= 12,95 ; p= 2,2*10^{-16***}). L'interaction entre les différents

facteurs est aussi significative (Biopesticide-Traitement : ddl = 10 ; F = 2,00 ; p = 0,03* ; Biopesticide-Date : ddl = 53 ; F = 7,24 ; p = 2,2*10^{-16***} ; Traitement-Date : ddl = 22 ; F = 1,74 ; p = 0,02* ; Biopesticide-Traitement-Date : ddl = 106 ; F = 1,27 ; p = 0,04*). Le nombre total de forficule le plus élevé a été enregistré pour le témoin (269 forficule/30 plants) du biopesticide tabac et le faible nombre pour le témoin sur le biopesticide neem (15 forficule/30 plants). Également, la grande densité est obtenue sur le témoin, significativement différente de la densité du standard et de la demi dose. Le grand nombre de forficule est enregistré au 28^e JAL et le faible nombre au 13^e JAL (Figure 9).

Tableau XI : Analyse de variances du nombre de forficules en fonction des biopesticides, des doses, des dates et de leurs interactions.

	ddl	Somme des carrés des écarts (Sum sq)	Carré moyen (Mean sq)	F-value	Pr(>F)
Biopesticide	5	2660,45	532,09	143,6534	2,2*10 ^{-16***}
Traitement	2	104,28	52,14	14,0763	1,213*10 ^{-06***}
Date	11	527,66	47,97	12,9507	2,2*10 ^{-16***}
Biopesticide * Traitement	10	74,43	7,44	2,0095	0,031*
Biopesticide : Date	53	1422,45	26,84	7,2459	2,2*10 ^{-16***}
Traitement * Date	22	142,29	6,47	1,7462	0,020*
Biopesticide * Traitement * Date	106	501,17	4,73	1,2765	0,049*
Erreur	418	1548,27	3,7		

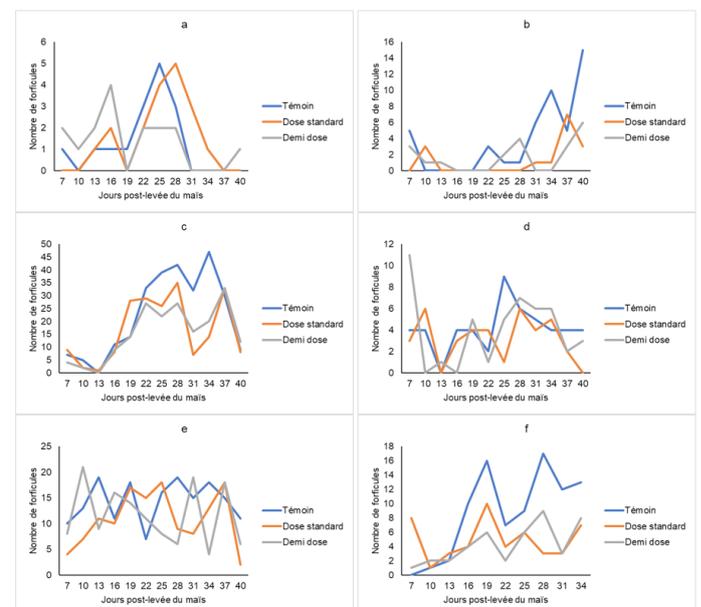


Figure 9 : Evolution temporelle du nombre total de forficule sous l'effet des biopesticides. a : *A. indica* ; b : *H. suaveolens* ; c : *N. tabacum* ; d : *V. amygdalina* ; e : *C. papaya* ; f : *O. basilicum* à la ferme semencière de Kétou.

- Coccinelles

L'analyse de variances a montré une différence significative dans la fluctuation des coccinelles prédatrices de la CLA sur

les biopesticides (ddl = 5 ; F = 164,59 ; p = 2,2*10^{-16***}), les différents traitements (ddl = 2 ; F = 9,49; p= 9,28*10^{-05***}) et suivant les jours de collecte (ddl= 11 ; F= 12,46 ; p = 2,2*10^{-16***}). Les interactions entre les différents facteurs Biopesticide-Date, Traitement-Date, Biopesticide-Traitement-Date sont significativement différentes (ddl = 53 ; F = 6,81 ; p = 2,2*10^{-16***}; ddl = 22 ; F = 2,54 ; p = 0,0001***; ddl = 106 ; F = 1,41 ; p = 0,0076**) (Tableau XII). Le grand nombre de coccinelles a été enregistré sur le tabac (282 coccinelles/30 plants) et le plus faible sur le neem (6 coccinelles/30 plants). Le traitement témoin a enregistré les nombres élevés de coccinelles qui sont significativement différents des nombres enregistrés pour les traitements standard et la demi-dose. Le grand nombre de coccinelles est enregistré au 25^e JAL et le faible nombre au 40^e JAL (Figure 10).

Tableau XII : Analyse de variances du nombre de coccinelles en fonction des biopesticides, des doses, des dates et de leurs interactions

	Ddl	Somme des carrés des écarts (Sum sq)	Carré moyen (Mean sq)	F-value	Pr(>F)
Biopesticide	5	2102,72	420,54	164,5952	2,2*10 ^{-16***}
Traitement	2	48,52	24,26	9,4941	9,28*10 ^{-05***}
Date	11	350,39	31,85	12,4672	2,2*10 ^{-16***}
Biopesticide * Date	53	923,07	17,42	6,8166	2,2*10 ^{-16***}
Traitement * Date	22	142,85	6,49	2,5413	0,0001***
Biopesticide* Traitement* Date	106	418,45	3,61	1,4119	0,0076**
Erreur	418	1068	2,56		

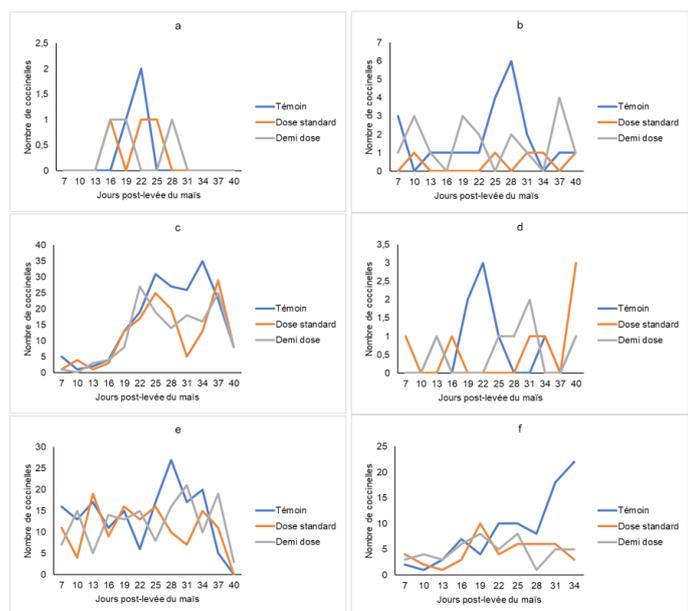


Figure 10 : Evolution temporelle du nombre total de coccinelles après application des biopesticides. a : *A. indica* ; b : *H. suaveolens* ; c : *N. tabacum* ; d : *V. amygdalina* ; e : *C. papaya* ; f : *O. basilicum* à la ferme semencière de Kétou.

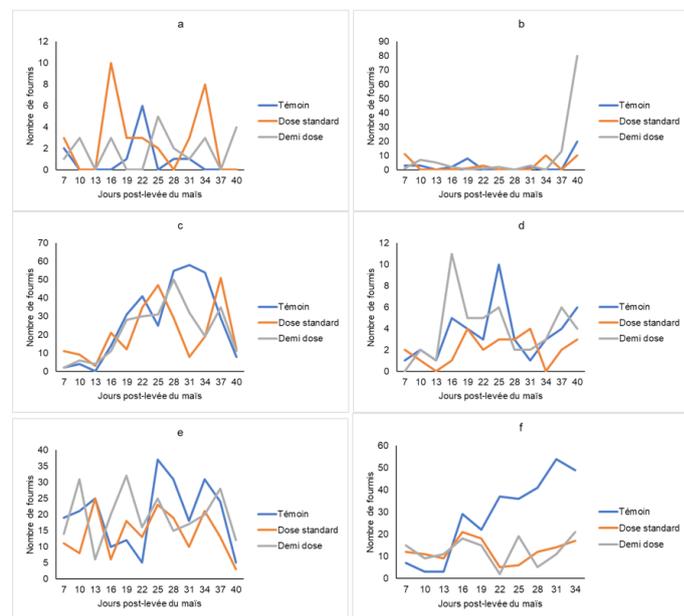
– Fourmis

Les résultats de l'analyse statistique (Tableau XIII) présentent

des différences significatives dans la fluctuation du nombre de fourmis prédatrices de la CLA sur les biopesticides (ddl = 5 ; F = 47,04 ; p = 2,2*10^{-16***}), les différents traitements (ddl= 2 ; F= 3,76 ; p= 0,023*) et suivant les jours de collecte (ddl= 11 ; F= 3,85 ; p= 2,28*10^{-05***}). Les interactions entre les différents facteurs Biopesticide-Traitement, Biopesticide-Date sont significativement différentes (ddl = 10 ; F = 2,72 ; p = 0,0028** ; ddl = 53 ; F = 3,02 ; p = 9,49*10^{-11***}). Les autres interactions ne sont pas significatives. Le grand nombre de fourmis a été enregistré sur le tabac (321 fourmis/30 plants) et le faible sur le neem (11 fourmis/30 plants). Le grand nombre a été obtenu sur les traitements témoins, significativement différent de la densité du standard. Le grand nombre de fourmis est enregistré au 34^e JAL et le faible nombre au 13^e JAL (Figure 11).

Tableau XIII : Analyse de variances du nombre de fourmis en fonction des biopesticides, des doses, des dates et de leurs interactions

	ddl	Somme des carrés des écarts (Sum sq)	Carré moyen (Mean sq)	F-value	Pr(>F)
Biopesticide	5	5087,7	1017,55	47,0475	2,2*10 ^{-16***}
Traitement	2	162,8	81,39	3,7632	0,023*
Date	11	916,3	83,3	3,8515	2,283*10 ^{-05***}
Biopesticide * Traitement	10	589,1	58,91	2,7239	0,0028**
Biopesticide * Date	53	3464,7	65,37	3,0225	9,493*10 ^{-11***}
Erreur	546	11808,9	21,63		



4- Discussion

Les résultats de cette étude ont montré l'efficacité des cendres et des biorationnels utilisés sur la CLA. Au laboratoire, les plus faibles taux d'éclosion d'œuf ont été obtenus dans les traitements à base de cendre. La cendre (poudre) de *Z. zanthoxyloides* affiche le taux d'éclosion des œufs le plus faible (3,87%) suivie de la solution d'*A. auriculiformis* (11,14%), la solution de *Z. zanthoxyloides* (18,12%) et de la poudre d'*A. auriculiformis* (18,62%). Ces résultats montrent que quel que soit le mode d'application des cendres, elles ont

les meilleurs taux d'inhibition de l'éclosion des œufs de la CLA et prouvent que les biorationnels sont moins ovicides. Ceci pourrait s'expliquer par l'effet abrasif de la cendre qui étouffe, use par frottement, de par sa composition chimique et biochimique (Tamgno et Ngamo, 2018). Sur les larves (L1, L2) au laboratoire, tous les traitements ont réduit la population des larves. L'huile de neem a causé les taux de mortalité les plus élevés (99% sur L1 et 94% sur L2). Ces résultats corroborent ceux de Tavares *et al.* (2010) qui ont obtenu des taux de mortalité de 83,33% et 89,58% sur les larves de 4 et 6 jours (L2, L3) d'âge au laboratoire ; ceci montre que plus la larve grandit moins elle est susceptible. Sisay *et al.* (2019) ont obtenu 96% de taux de mortalité larvaire 72 heures après traitement après avoir évalué l'efficacité des insecticides synthétiques et botaniques sur la chenille légionnaire d'automne en condition de laboratoire, de serre, de champ.

Au champ, la combinaison d'extrait de vernonia et d'huile de jatropha s'est montrée plus efficace en réduisant le nombre de larves et les dégâts comparativement aux cendres. Ceci pourrait s'expliquer par l'effet larvicide et anti-nourrissant du vernonia et du jatropha (Tavares *et al.*, 2009 ; Bullangpoti *et al.*, 2012). Les cendres ont été moins efficaces et cela pourrait s'expliquer par le fait que les conditions climatiques (le vent, la pluie) pourraient réduire leur efficacité. Également, *H. suaveolens* et *A. indica* ont présenté les meilleures performances en réduisant le nombre de larves et les dégâts infligés aux plants. Aucune différence significative n'a été observée entre les deux doses appliquées. Ces résultats sont dus aux effets répulsifs et perturbateurs de croissance des extraits de ces plantes. Ces résultats sont similaires aux travaux de Sisay *et al.* (2019). Le nombre élevé de larves et les plus grands dégâts enregistrés dans le traitement témoin comparativement aux parcelles traitées concordent avec les travaux de Adegbite (2011) menés sur l'utilisation de l'extrait aqueux de tabac dans la lutte contre *Meloidogyne incognita* race 2.

De nombreuses publications existent sur les propriétés insecticides, ovicides, anti-nourrissantes, répulsives et inhibitrices de croissance des pesticides botaniques (Baskar *et al.*, 2011 ; Yarou *et al.*, 2017). La présence des ennemis naturels (prédateurs) de la CLA dans les traitements en condition de plein champ montre que les extraits des plantes ne sont pas nocifs et pourraient entrer dans les programmes de lutte intégrée contre la CLA. Ces études ont démontré le potentiel de l'utilisation des plantes insecticides (biorationnels) en tant que composante d'un programme de lutte intégrée contre les bioagresseurs. Ces plantes sont cultivées localement dans de nombreuses régions d'Afrique et peuvent être utilisées par les petits agriculteurs comme approches alternatives à la gestion de la CLA.

Conclusion

De la présente étude, il a été observé, au laboratoire, que l'application des cendres et des biorationnels était efficace sur la CLA. Les cendres ont réduit considérablement l'éclosion des œufs ($3,87 \pm 0,7$ %) et les biorationnels neem, jatropha et ricin ont causé une mortalité élevée des larves ($99 \pm 0,1$ %). Au champ, la combinaison de l'extrait de vernonia+jatropha, l'extrait des feuilles du chan (*Hyptis*) et des feuilles de neem ont enregistré la plus grande mortalité des larves de la CLA et le plus grand taux de réduction de ses dégâts. Pour une utilisation efficiente des plantes et conformément aux résultats obtenus, les cendres et les biorationnels les plus efficaces à la demi dose (5 kg/ha) pourraient être recommandés pour la gestion de la CLA dans les champs de maïs. Cependant, une

approche de lutte intégrée est nécessaire pour gérer la CLA.

Remerciements

Le financement de ce travail a été en partie couvert par le projet "Evaluation des solutions locales pour la gestion de la chenille légionnaire d'automne" (ESLGCLA, EGPVS/FAO).

Références citées

- Abrahams P., Beale T., Cock M., Corniani N., Day R., Godwin J., Murphy S., Richards G. and Vos J. (2017). Fall armyworm status : Impacts and control options in Africa: Preliminary Evidence Note (April 2017) 18.
- Adegbite A.A. (2011). Effects of some indigenous plant extracts as inhibitors of egg hatch in root-knot nematode (*Meloidogyne incognita* race 2), *Journal of Experimental Agriculture International*, 1(3), 96-100.
- Arouna A., Adégbola P.Y. et Biao G. (2011). Analyse des coûts de stockage et de conservation du maïs au Sud-Bénin, *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin*, 2, 13-23.
- Ayala O.R., Navarro F. and Virla E.G. (2013). Evaluation of the attack rates and level of damages by the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), affecting corn-crops in the northeast of Argentina, *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 45, 1-12.
- Baskar K., Maheshwaran R., Kingsley S. and Ignacimuthu S. (2011). Bioefficacy of plant extracts against Asian army worm *Spodoptera litura* Fab. (Lepidoptera: Noctuidae), *Journal of Agricultural Technonogy*, 7(1), 123-131.
- Bullangpoti V., Wajnberg E., Audant P. and Feyereisen R. (2012). Antifeedant activity of *Jatropha gossypifolia* and *Melia azedarach* senescent leaf extracts on *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) and their potential use as synergists, *Pest Management Science*, 68(9), 1255–1264. doi:10.1002/ps.3291.
- Casmuz Augusto J.M.L., Socías M.G., Murúa M.G., Prieto S. and Medina S. (2010). Revisión de los hospederos del gusano cogollero del maíz, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 69, 209–231.
- Day R., Abrahams P., Bateman M., Beale T., Clottey V., Cock M., Colmenarez Y., Corniani N., Early R., Godwin J., Gomez J., Moreno P.G., Murphy S.T., Oppong-Mensah B., Phiri N., Pratt C., Silvestri S. and Witt A. (2017). Fall Armyworm: Impacts and Implications for Africa, *Outlooks on Pest Management*, 28, 196-201. https://doi.org/10.1564/v28_oct_02.
- Early R., González-Moreno P., Murphy S.T. and Day R. (2018). Forecasting the global extent of invasion of the cereal pest *Spodoptera frugiperda*, the fall armyworm, *NeoBiota* 40, 25–50. <https://doi.org/10.3897/neobiota.40.28165>.
- Goergen G., Kumar P.L., Sankung S.B., Togola A. and Tamò M. (2016). First Report of Outbreaks of the Fall Armyworm *Spodoptera frugiperda* (J.E Smith) (Lepidoptera, Noctuidae), a New Alien Invasive Pest in West and Central Africa, *PLOS ONE* 11, e0165632. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0165632>.
- MAEP (Ministère de l'Agriculture, de l'Élevage et de la Pêche). (2010). Annuaire de la statistique : campagne 2009-2010, Cotonou, Bénin : MAEP.

- Mugisha-Kamatenezi M., Deng A.L., Ogendo J.O., Omolo E.O., Mihale M.J., Otim M., Buyungo J.P. and Bett P.K. (2008). Indigenous knowledge of field insect pests and their management around Lake Victoria basin in Uganda, *African Journal of Environmental Science and Technology*, 2, 342-348.
- Ogendo J.O., Deng A.L., Omollo E.O., Matasyoh J.C., Tuey R.K. and Khan Z.R. (2013). Management of stem borers using selected botanical pesticides in a maize-bean cropping system, *Egerton Journal of Science & Technology*, 13, 21-38.
- Prasanna B.M., Huesing J.E, Eddy R. and Peschke V.M. (eds). (2018). *Fall Armyworm in Africa : A Guide for Integrated Pest Management*, First Edition. Mexico, CDMX: CIMMYT.
- Ramos-López M.A., Pérez S., Rodríguez-Hernández G.C., Guevara-Fefer P. and Zavala-Sanchez M.A. (2010). Activity of *Ricinus communis* (Euphorbiaceae) against *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), *African Journal of Biotechnology*, 9, 1359-1365.
- Schrack D., Coquil X., Ortar A. et Benoît M. (2009). Rémanence des pesticides dans les eaux issues de parcelles agricoles récemment converties à l'Agriculture Biologique, *Innovations Agronomiques*, INRAE, 4, 259-268.
- Sisay B., Tefera T., Wakgari M., Ayalew G. and Mendesil E. (2019). The Efficacy of Selected Synthetic Insecticides and Botanicals against Fall Armyworm, *Spodoptera frugiperda*, in Maize, *Insects*, 10(2), 45. doi:10.3390/insects10020045.
- Stevenson P.C., Isman M.B. and Belmain S.R. (2017). Pesticidal plants in Africa: a global vision of new biological control products from local uses *Industrial Crops and Products*, 110, 2-9.
- Tamgno B.R. et Ngamo Tinkeu L.S. (2018). Potentialisation de l'efficacité insecticide des poudres de feuilles ou amandes de neemier *Azadirachta indica* A. Juss par formulation avec la cendre de tiges de mil contre *Sitophilus zeamais* M. et *Sitophilus oryzae* L. (Coleoptera : Curculionidae), *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, 18(1), 13254-13270.
- Tavares W.S., Costa M.A., Cruz I., Silveira R.D., Serrão J.E. and Zanuncio J.C. (2010). Selective effects of natural and synthetic insecticides on mortality of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) and its predator *Eriopis connexa* (Coleoptera: Coccinellidae), *Journal of Environmental Science and Health*, 45, 557-561.
- Tavares W.S., Cruz I., Petacci F., de Assis Júnior S.L., Sousa Freitas S., Zanuncio J.C. and Serrão J.E. (2009). Potential use of Asteraceae extracts to control *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) and selectivity to their parasitoids *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) and *Telenomus remus* (Hymenoptera: Scelionidae), *Industrial Crops and Products*, 30, 384-388.
- Toepfer S., Kuhlmann U., Kansime M., Onyango D.O., Davis T., Cameron K. and Day R. (2018). Communication, information sharing, and advisory services to raise awareness for fall armyworm detection and area-wide management by farmers, *Journal of Plant Diseases and Protection*, 126, 103-106.
- Van der Gaag D.J. and Van der Straten M. (2017). Assessment of the potential impact of American *Spodoptera* species for the European Union, Netherlands Food and Consumer Product Safety Authority Utrecht, the Netherlands, p42.
- Yarou B.B., Silvie P., Komlan F.A., Mensah A., Alabi P., Verheggen F. et Francis F. (2017). Plantes pesticides des cultures maraichères en Afrique de l'Ouest (synthèse bibliographique). *Biotchnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 21(4), 288-304.