



**Rapport du test d'efficacité biologique du diffuseur PARAGRI45 à base d'huile essentielle pour lutter contre la chenille légionnaire '*Spodoptera frugiperda*' sur la culture de maïs à Madagascar**

**Par**

Dr. RAZAFINDRAKOTO Charlotte<sup>1</sup>  
RAHARISON Rova Fabrice<sup>2</sup>  
RAHARISON Ando Fabien<sup>2</sup>  
RASAMIMANANA Santatra Dimbiniaina<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Chercheur Entomologiste au FOFIFA CRR ME Ambohitsilaozana Ambatondrazaka

<sup>2</sup>Assistant technique de recherche au sein du projet AF RICE/FOFIFA CRR ME à Ambohitsilaozana  
Ambatondrazaka

<sup>3</sup>Laboratoire Aromathera

**Juin 2018**

## 1. INTRODUCTION

Le maïs est l'une des principales cultures vivrières à Madagascar. Il tient la troisième place en termes de surfaces cultivées et de production pour les cultures produites après le riz et le manioc, sur une superficie de 300 000 hectares environ. Cette céréale est un aliment clé pour une partie de la population et aussi un substitut naturel du riz, l'aliment de base pour la majorité des malagasy durant la période de soudure (novembre-mars).

Les bio agresseurs (virus, bactéries, champignons, ravageurs et plantes parasites, etc...) constituent un des facteurs limitant le rendement. La méconnaissance de ces bios agresseurs et la non-maîtrise des méthodes de lutte, aggravent la situation. Récemment, la chenille légionnaire d'automne '*Spodoptera frugiperda*' est apparue en Afrique au courant de l'année 2016. Elle a été pour la première fois détectée à Madagascar dans le Sud de l'île en novembre 2016 à Antanimieva Ambatolily, dans le district de Morombe, dans la région d'Atsimo Andrefana et envahit l'île à l'heure actuelle. Une carte régulièrement mise à jour par le ministère auprès de la Présidence en charge de l'Agriculture et de l'Elevage (MPAE) montre que le fléau a touché quinze régions de développement sur vingt-deux, soit quasiment les trois-quarts du territoire, à la date du 6 mars 2018.

Véritable fléau sur le continent africain, ce ravageur a le potentiel de causer de sérieux dégâts et des pertes de rendement importantes pour des cultures céréalières (maïs, riz, sorgho...) et d'autres cultures telles que les légumineuses (niébé, soja...), la pomme de terre, etc. Il s'agit d'un insecte vorace pouvant s'attaquer à près de quatre-vingts espèces de plantes" selon la littérature.

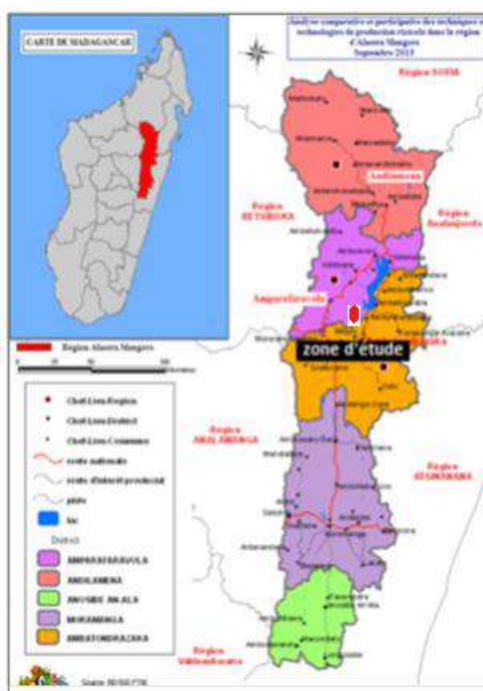
A Madagascar, des missions d'évaluation sur le terrain ont été déjà déployées par l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), la Direction de la Protection des Végétaux (DPV) et le Centre National de Recherche Appliquée au Développement Rural (FOFIFA/CENRADERU). La priorité est d'assurer la sécurité alimentaire de la population malgache en atténuant au maximum les impacts de l'infestation. La lutte chimique n'est pas durable, elle est mal maîtrisée et a un coût élevé. Il y a lieu de trouver tous les moyens pour lutter contre cette noctuelle par le contrôle biologique et la mise au point des techniques localement adaptées étendant vers des principes écologiques. La lutte biologique est efficace. Elle a des effets immédiats. C'est à ce propos que le test sur l'utilisation des produits insecticides à base d'huiles essentielles dont **le diffuseur Paragri45,**

est entrepris. Les résultats de ce test font l'objet du présent manuscrit, en vue d'homologation de ce produit.

## 2. MATERIEL ET METHODE

### 2.1. Site d'étude

Les tests sur l'efficacité biologique du diffuseur PARAGRI45, ont été réalisés au FOFIFA CRR MOYEN EST à Ambohitsilaozana Ambatondrazaka (Fig.1) durant la campagne 2017-2018.



**Fig.1** : Carte de localisation du site d'étude à Ambohitsilaozana Ambatondrazaka

### 2.2. Matériel

- Produit testé : Diffuseur insecticide à base d'huile essentielle. Il s'agit du produit dénommé Paragri45 fabriqué par le laboratoire Aromathera à Madagascar.
- Composition paragri45 : Cf. enveloppe
- Mode d'emploi du paragri45 :

Pour mettre en service les diffuseurs formés par un sachet PVC contenant le produit insecticide à base d'huile essentielle, les 2 angles de l'emballage protecteur en alu contenant le diffuseur sont coupés suivant les pointillés indiqués sur l'emballage. Ils sont ensuite posés par terre à l'ombre, de préférence dès la germination à titre préventif ou après des attaques à titre curatif. Pour éviter que le vent les déplace, chaque diffuseur est placé sous un caillou,

ou attaché à un pic en bois. On peut aussi les enterrer sous 2/3 cm de terre meuble pour les dissimuler.

Les diffuseurs sont changés tous les 45 jours jusqu'à la récolte des épis du maïs.

## 2.3. Méthodologie

### 2.3.1. *Dispositifs expérimentaux*

Quatre parcelles de maïsiculture ont été mises en place et ont fait l'objet des observations décrites dans le paragraphe suivant. Il s'agit alors d'une répétition dans l'espace. Chaque parcelle a une superficie de 100 ares.

Le premier diffuseur est placé à 2 mètres avant le champ et en amont de la direction du vent. Un diffuseur couvre 900m<sup>2</sup>, soit 30m x 30m. Le deuxième diffuseur est placé au milieu de la ligne de 30m et les suivants tous les 30 m toujours à leur milieu. En tout, sur une parcelle de 1 hectare, 12 diffuseurs sont utilisés et placés dans les champs suivants le schéma indiqué par la figure 2. Ils sont donc alignés car ils sont toujours placés au milieu de chaque ligne de 30m (Fig. 2).

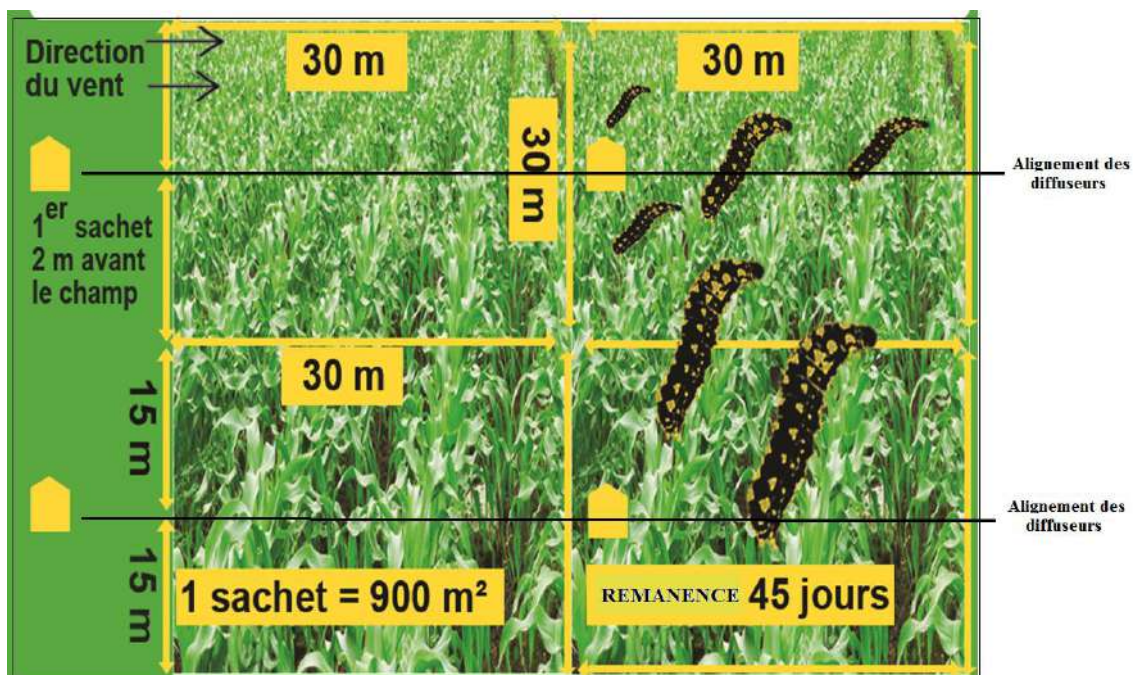


Fig.2 : Schéma de mise en place des diffuseurs dans une parcelle

 : Diffuseur

### 2.3.2. Conduite des observations aux champs

Il est important pour un observateur d'avoir une compréhension générale du stade de croissance de la culture de maïs lors des observations, comme le stade de développement informe un certain nombre de facteurs pertinents.

- La densité de la canopée dans le champ, qui à son tour informe le modèle de dépistage utilisé pour échantillonner au champ.
- Les parties de la plante accessible à l'insecte pour l'infestation, et la durée que mettent les larves après leur émergence pour infester la plante. Cela nous informe sur la partie de la plante et les signes d'infestation à rechercher.

Pour les observations, il faut considérer les stades de croissance du maïs qui se divisent en végétation (V) ou formation des feuilles, glandage (VT) et reproduction (R).

Le stade V du maïs est défini par le nombre de feuilles de maïs présentant un collier des feuilles et non le nombre total de feuilles visibles sur la plante. Ce stade se divise en deux parties :

- Stade V 'early stage' (VE – V6) c'est à dire stade 5 feuilles (14 jours après semis)
- Stade glandage (VT) 'Late stage' : entre stade de 8 et 12 feuilles (entre 20 et 50 jours après semis).

Le stade reproduction (R1 à R3 stages "Tasseling & Silking) comprenant :

- stade de formation de la panicule (inflorescence mâle) qui apparaît au sommet du plant de maïs (60 à 75 jours après le semis) Figure 2.
- Stade de formation des soies (inflorescences femelles) qui apparaissent et sont prêtes pour la fécondation 5 à 8 jours après l'apparition des fleurs mâles (panicules) Figure 3.
- Stade formation des épis (figure 4). Les soies formées sont toujours présents sur l'épi de maïs bien formé.



**Fig.3** – Inflorescence mâle



**Fig.4** – Inflorescence femelle



**Fig.5** – formation des épis de maïs

Deux observations par semaine sont effectuées en parcourant les champs suivant les conduites données ci-dessous pendant toute la durée du cycle donc jusqu'aux récoltes.

### **2.3.3. Evaluation des dégâts au stade végétatif (VE – V6) soit 14 jours après semis**

1. Dès l'arrivée au champ, faites une évaluation visuelle rapide. Parfois, des infestations ponctuelles dans un champ peuvent être observées à ce stade. De même, recherchez les "points chauds" tout en se déplaçant à travers le champ.
2. Il faut se déplacer rapidement dans le champ. Examiner 5 endroits choisis au hasard dans le champ. Éviter les rangées ou endroit tout près de la bordure de chaque parcelle.
3. À chaque endroit, examinez 20 plantes. Observer deux à trois feuilles (2-3) les plus récentes qui émergent du verticille car c'est là que la chenille aime se nourrir et où les papillons de la chenille pondent leurs œufs. Les œufs sont déposés sur les feuilles basales du maïs sur la face inférieure des feuilles pendant la nuit. Les jeunes larves du premier stade se nourrissent déjà des feuilles de maïs. Elles les rongent en laissant des petites fenêtres sur les feuilles.
4. Dans certains cas, les larves de la chenille légionnaire coupent et déchirent les semis. Ce dégât est très similaire à ceux des vers-gris. En général, l'insecte incriminé peut se cacher sous la saleté ou les débris près des plantes coupées.
5. Dégâts des larves au stade initial sur les feuilles de maïs, sont sous la forme de trous d'épingle ou petites vitres
6. Lorsque les plantes sont jeunes et que les tissus des feuilles sont mous, les larves du premier stade produisent des grappes de dommages de type sténopé ou de petites «fenêtres ou vitres» rondes. Enregistrer le nombre de semis (sur 20) qui ont ces types de dommages.
7. Plus tard, au fur et à mesure que les tissus des feuilles mûrissent et deviendront plus fibreux et tenaces, les vitres des fenêtres sont dispersées et allongées plutôt que regroupées. La largeur des vitres reflète la largeur de la capsule de la tête larvaire.
8. En raison du chevauchement des différentes générations de la chenille légionnaire, il est utile de faire la distinction entre les anciens dégâts et ceux qui sont récents. Pour les observations, on n'enregistre que des dégâts frais.
9. Les verticilles infestés comprennent des vitres fraîches, des matières fécales fraîches (excréments) des larves.

10. Les dégâts dans le verticille résultent des feuilles endommagées qui se déploient en dehors du verticille, produisant une série horizontale de trous à travers un "pincement" dans la feuille. Les larves se nourrissant dans le verticille, au fur et à mesure que la feuille émerge, un motif de découpe caractéristique «poupée de papier» apparaît. Cela se produit donc lorsque les larves se nourrissent de la feuille enroulée dans le verticille. Ce sont les larves du sixième stade L6 qui laissent tous ses excréments dans la cornée du plant de maïs. Elles se nourrissent aussi des jeunes épis.
11. Pour chaque observation, il faut réaliser les étapes 1 à 10 cinq fois pour une parcelle donnée.
12. Une fois observations réalisées, enregistrer toutes les données pour la date donnée et évaluer les dégâts et le pourcentage d'infestation du champ ainsi observé.

La méthode d'évaluation des dégâts foliaires de maïs dus à la chenille légionnaire aux champs, au stade V se fait suivante des notations. Il s'agit de la notation des dégâts par la chenille légionnaire sur les plants de maïs, basée sur des observations des dégâts foliaires causés par cette chenille. Les notations ou scores sont données dans le tableau 1.

**Tableau 1** : Notation des dégâts de la chenille *Spodoptera frugiperda*

Symptômes dégâts / description	Score	Dégâts ou niveau d'infestation
1. Aucun dégât visible d'alimentation des feuilles	1	0
2. Quelques piqûres sur 1-2 feuilles plus vieilles	2	1
3. Plusieurs blessures par trous sur quelques feuilles (<5 feuilles) et un petit trou circulaire début dégât foliaire.	3	
4. Plusieurs blessures par perforations des plusieurs feuilles (6-8 feuilles) ou de petites lésions / trous d'épingle, petites lésions circulaires, et quelques petites lésions allongées (de forme rectangulaire) allant jusqu'à 1,3 cm longueur présente sur les feuilles qui émergent du verticille	4	2
5. Lésions allongées (> 2,5 cm de long) sur 8-10 feuilles, plus quelques trous uniformes de petite à moyenne taille, présence des trous de forme irrégulière, membrane basale consommée donc verticille infesté.	5	3
6. Présence de plusieurs grandes lésions allongées sur plusieurs feuilles de verticille et ou enroulement de verticille et / ou présence des plusieurs trous de grande taille uniforme, ou trous de forme irrégulière sur des feuilles qui émergent de verticille	6	4
7. De nombreuses lésions allongées de toutes tailles sont présentes sur plusieurs feuilles de verticille, grand trous de forme irrégulière ou grands trous uniformes, enroulement des feuilles de verticille infesté.	7	
8. De nombreuses lésions allongées de toutes tailles sont présentes sur la plupart des feuilles émergeant de verticille, verticilles enroulées, présence aussi de nombreux trous de taille moyenne à grande irrégulière ou	8	



uniforme, verticilles infestées.		
9. Feuilles verticillées enroulées presque <b>totalemment détruites</b> et plantes mortes à la suite des dégâts dans le verticille résultant des feuilles endommagées	<b>9</b>	<b>5</b>
<b>Source: Modified de Davis et Williams (1992) – Modified Razafindrakoto Charlotte (2018).</b>		

#### **2.3.4. Evaluation des dégâts entre stade 8 et 12 feuilles (entre 20 et 50 jours après semis/‘Late stage’.**

Comme auparavant, on évite de travailler sur les rangées des plants de la bordure de parcelle.

On fait de la même manière que précédemment mais en :

1. Examinant 20 plantes, particulièrement trois à quatre feuilles les plus récentes (3-4) émergeant du verticille plus le gland émergent.
2. Observant les fenêtrures fraîches apparaissant dans le verticille infesté, ainsi que les larves et les excréments dans le verticille endommagé.
3. Notant le nombre de plantes (sur 20) avec des vitres fraîches ou des verticilles infestés.

#### **2.3.5. Evaluation des dégâts durant le stade de formation des panicules, des soies et des épis de maïs (stade de reproduction R1-R3)**

1. On se déplace rapidement dans le champ. On arrête 5 fois et examine à chaque arrêt 20 plantes. Il faut toujours éviter les plants se trouvant sur les bords à cause des effets de bord.
2. Lorsque l'épi émerge, il pousse les larves hors du verticille. À partir de ce point en avant, les larves se cachent à l'aisselle des feuilles, à la base de l'épi/épi en développement, et/ou dans le bout de l'oreille. (A ce stade, il n'y a plus de verticille permettant les larves de se cacher).
3. On examine chaque oreille et les soies. Les larves mangent non seulement au milieu de l'oreille, mais infestent également la pointe. Examiner une feuille immédiatement au-dessus et en dessous de chaque oreille.
4. On note le nombre de plantes présentant des dégâts d'alimentation, le nombre de plantes infestées par de larves et le nombre de plantes qui ont des épis/oreilles endommagés. A ce stade, on ouvre carrément les spathes des épis et bien examiner toutes les étapes indiquées à ce stade. Pour ce faire, il faut ouvrir les spathes de 100 épis examinés pour chercher s'il y a des larves des de la chenille légionnaire et ou épis attaqués par la chenille légionnaire ou autre ravageur à préciser.

Au cours des observations, il faut s'assurer de bien identifier les larves trouvées, qu'il s'agisse bien des larves de '*Spodoptera frugiperda*'. Pour cela vérifier la présence de «marque de champ» montrant le carré à quatre points sur le huitième segment abdominal.

### **2.3.6. Suivi des populations de chenille légionnaire sur les parcelles expérimentales**

Ce suivi a été fait par comptage des œufs, des larves et adultes, vivants et morts, de *Spodoptera frugiperda*. Il a été fait les mêmes jours que l'évaluation des dégâts aux champs sur les parcelles d'observations.

Les effectifs des individus ainsi observés formeront les données à collecter. Elles font l'objet des dépouillements, du triage et analyses par la suite.

### **2.3.7. Analyses statistiques**

Les analyses statistiques des données obtenues comprennent l'analyse de variance à un facteur de classification (ANOVA Test, Tukey et Fisher, 1982), suivies d'un facteur de classification toujours du test de Tukey et Fisher (1982), le t-test ainsi que la classification hiérarchique ascendante es basée sur la distance euclidienne des moyennes (Roux, 1985).

### 3. RESULTATS ET INTERPETATIONS

#### 3.1. Caractéristiques des parcelles et calendriers des observations

Le tableau 2 résume les renseignements recueillis sur les parcelles faisant l'objet des observations

**Tableau 2** : Caractéristiques des parcelles d'observations

N° parcelle	Parcelle P1	Parcelle P2	Parcelle P3	Parcelle P4
<b>Localité</b>	FOFIFA CRR ME Parcelle (201) Ambaibo	FOFIFA CRR ME Est allée <i>Eucalyptus</i>	FOFIFA CRR ME Parcelle (202) Ambaibo	FOFIFA CRR ME Est allée <i>Eucalyptus</i>
<b>Superficie (ares)</b>	100	100	100	100
<b>Propriétaire</b>	William	Rabearimalala Naina Ernest	Sambimana	Rabearimalala Naina Ernest
<b>GPS</b>	S 17°41.308' E 048°28.161' Altitude 766 m	S 17°41.414' E 048°28.005' Altitude 765 m	S 17°41.115' E 048°28.158' Altitude: 766 m	S 17°41.338' E 048°27.988' Altitude 771 m
<b>Précédents culturaux</b>	Haricots	Maïs	Maïs	Maïs
<b>Variété de maïs</b>	IRAT 200	IRAT 200	IRAT 200	IRAT 200
<b>Date de semis</b>	15 janvier 2018	15 janvier 2018	15 janvier 2018	30 janvier 2018
<b>Date de mise en place des diffuseurs</b>	09.02.18	09.02.18	09.02.18	22.02.18

Les calendriers des différentes observations sont donnés dans le tableau 3.

**Tableau 3.** Récapitulation des calendriers des observations sur les parcelles expérimentales

N° parcelle	Parcelle P1		Parcelle P2		Parcelle P3		Parcelle P4	
	Numéro d'observation	Date d'observation	Numéro d'observation	Date d'observation	Numéro d'observation	Date d'observation	Numéro d'observation	Date d'observation
<b>Pose du diffuseur</b>	D1	09.02.18	D1	09.02.18	D1	09.02.18	-	Parcelle fortement infestée. Pose de diffuseur à la demande de la propriétaire de la parcelle
	D2	10.02.18	D2	10.02.18	D2	10.02.18	-	
	D3	13.02.18	D3	13.02.18	D3	13.02.18	-	
	D4	16.02.18	D4	16.02.18	D4	16.02.18	-	
	D5	21.02.18	D5	21.02.18	D5	21.02.18	-	
				22.02.18		22.02.18	D1	22.02.18 (pose 1 <sup>er</sup> diffuseur)
	D6	27.02.18	D6	27.02.18	D6	27.02.18	D2	27.02.18
	D7	02.03.18	D7	02.03.18	D7	02.03.18	D3	02.03.18
				<b>05.03.18</b>		<b>05.03.18</b>		
				<b>09.03.18</b>		<b>09.03.18</b>		<b>09.03.18</b>
	D8	13.03.18	D8	13.03.18	D8	13.03.18	D4	13.03.18
	D9	16.03.18	D9	16.03.18	D9	16.03.18	D5	16.03.18
	D10	20.03.18 (Début floraison)	D10	20.03.18 (Début floraison)	D10	20.03.18 (Début floraison)	D6	20.03.18

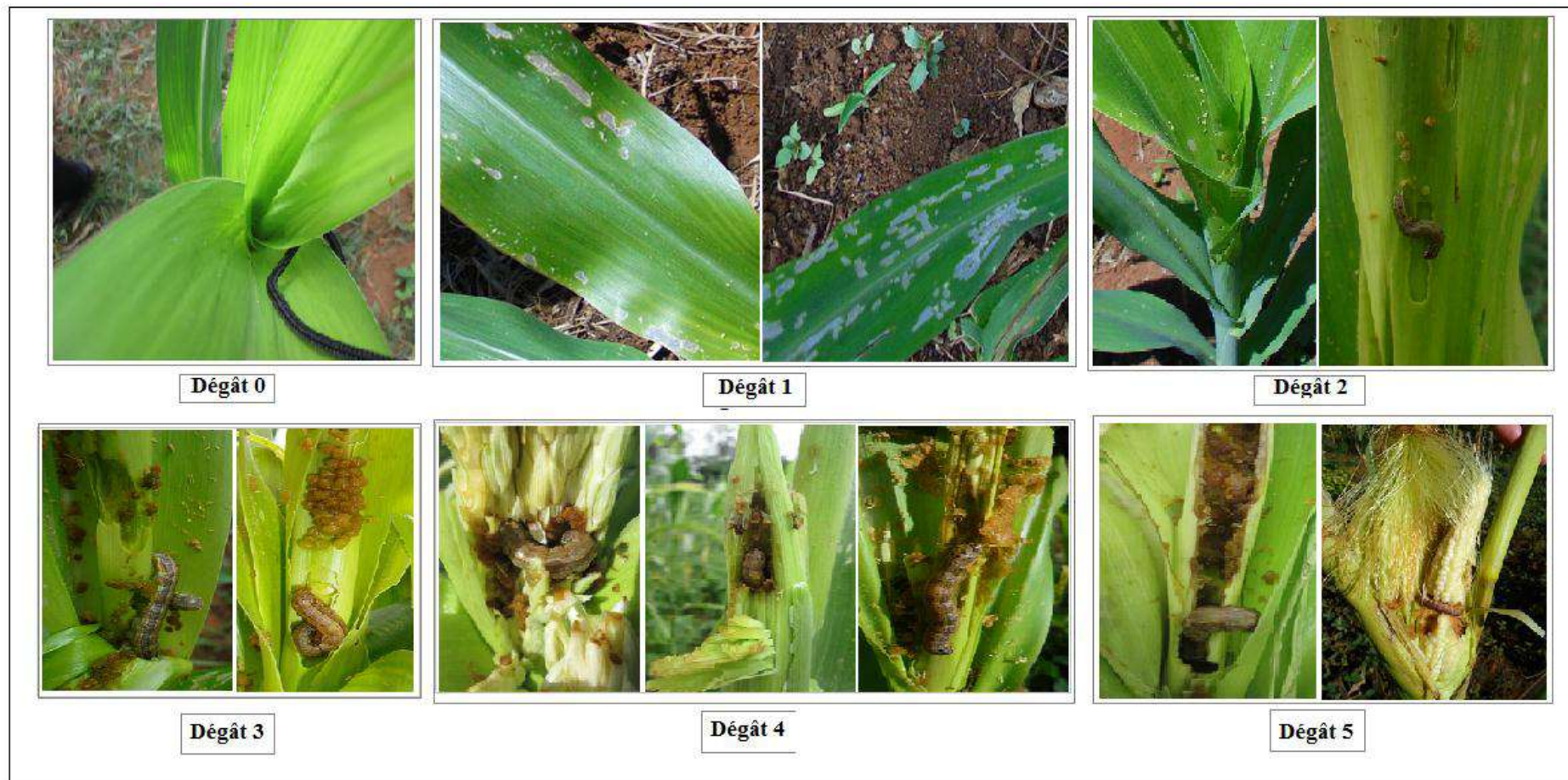
Tableau 2 (suite) : Récapitulation des calendriers des observations sur les parcelles expérimentales								
	Parcelle P1		Parcelle P2		Parcelle P3		Parcelle P4	
	D11	26.03.18 (Début épiaison)	D11	26.03.18 (Début épiaison)	D11	26.03.18 (Début épiaison)	D7	26.03.18
	D12	28.03.18	D12	28.03.18	D12	28.03.18	D8	
	D13	30.03.18	D13	30.03.18	D13	30.03.18	D9	30.03.18
	D14	04.04.18	D14	04.04.18	D14	04.04.18	D10	04.04.18
	D15	06.04.18	D15	06.04.18	D15	06.04.18	D11	06.04.18
		09.04.18		09.04.18		09.04.18	D12	09.04.18
							D13	04 juin 2018

La parcelle P4 a été fortement infestée. La pose du diffuseur sur cette parcelle a été faite à la demande de la propriétaire de la parcelle. C'est la raison pour laquelle la date de mise en place du diffuseur sur cette parcelle a été différente de celles des autres parcelles P1, P2 et P3.

Notons que 10 (dix) hectares de parcelles de production de semences de maïs au FOFIFA CALA ont été également traités avec ce diffuseur, qui a été déposé la même date que celle de la parcelle P4, suite aux fortes attaques de chenille légionnaire d'automne de maïs. Cependant, seule la parcelle P4 qui a fait l'objet des observations comme les 3 autres parcelles P1, P2 et P3.

### 3.2. Dégâts causés par la chenille légionnaire observés sur les différentes parcelles d'études au stade végétatif.

La figure 6 ci-contre illustre les différents types des dégâts observés sur terrain correspondant aux notations des dégâts modifiés par Razafindrakoto Charlotte.



**Fig. 6 :** Les différents types des dégâts de la chenille légionnaire d'automne observés sur culture de maïs sur les parcelles témoin à Ambohitsilaozana (Campagne 2017- 2018)

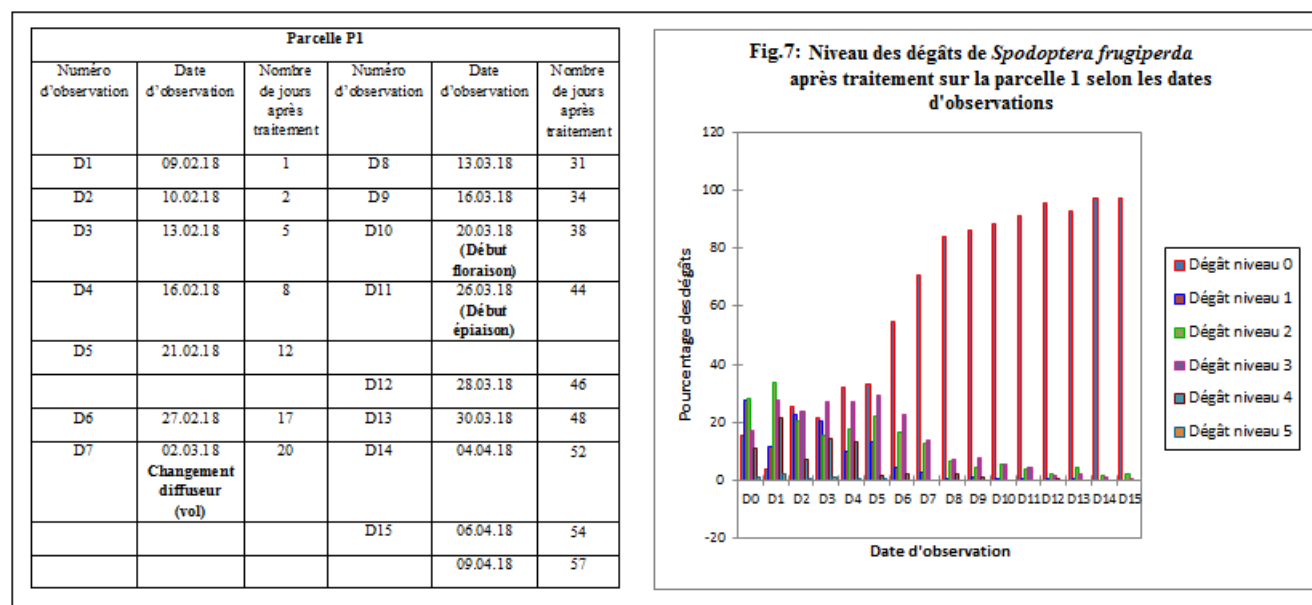
### 3.2.1. Variation des dégâts sur la parcelle P1

Le tableau 4 donne les résultats des analyses de variance des dégâts observés sur la parcelle P1 aux stades végétatifs (early stage and late stage).

**Tableau 4** : Analyse de variance des dégâts aux stades végétatifs sur la parcelle P1

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	116	129715.917	1118.241	8.759	< 0,0001
Erreur	75	9574.750	127.663		
Total corrigé	191	139290.667			

Ce résultat est hautement significatif. **F = 8.759 à P < 10<sup>-4</sup>**



**Fig. 7** : Niveau des dégâts de *Spodoptera frugiperda* après traitement sur la parcelle 1 selon les dates d'observations



Avant traitement de la parcelle P1 avec le diffuseur, le dégât observé était au niveau 2 c'est-à-dire avec plusieurs blessures par perforations des plusieurs feuilles (6-8 feuilles) ou de petites lésions / trous d'épingle, petites lésions circulaires, et quelques petites lésions allongées (de forme rectangulaire) allant jusqu'à 1,3 cm longueur présente sur les feuilles qui émergent du verticille. Ce dégât diminue nettement au fur et à mesure que les diffuseurs sont laissés sur la parcelle, jusqu'à ce que les dégâts observés soient principalement du niveau 0 (fig.7).

### 3.2.2. *Variation des dégâts sur la parcelle P2*

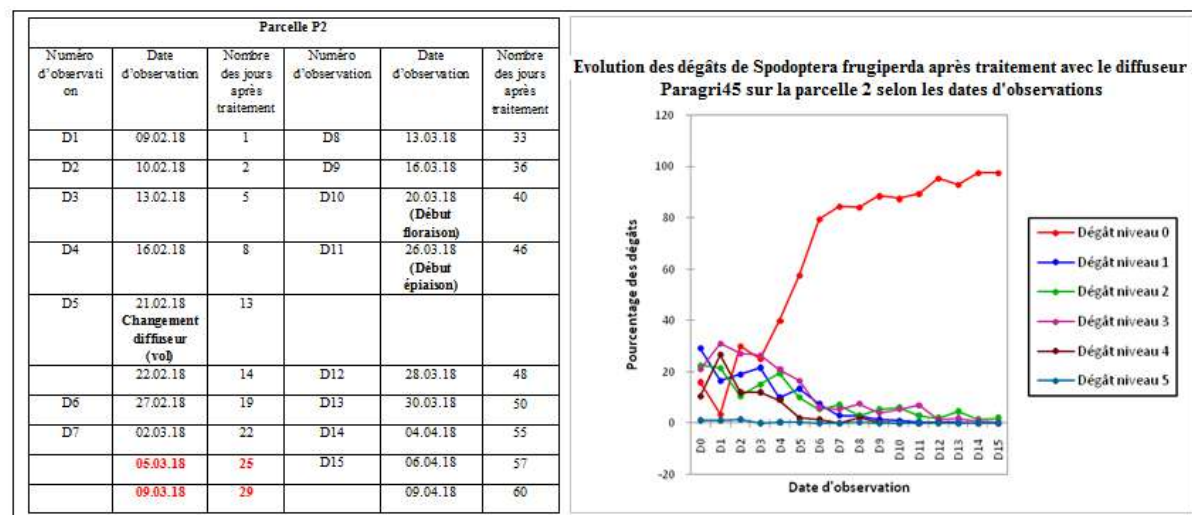
Des résultats similaires à ceux de la parcelle P1 sont obtenus sur la parcelle P2 selon les résultats des analyses de variance des données recueillies sur la parcelle P2 donnés dans le tableau 5 et aussi les courbes de la figure 6.

**Tableau 5 : Analyse de variance des dégâts aux stades végétatifs sur la parcelle P2**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	116	140323.854	1209.688	16.274	< 0,0001
Erreur	75	5574.812	74.331		
Total corrigé	191	145898.667			

*Calculé contre le modèle  $Y = \text{Moyenne}(Y)$*

**F = 16.274 à P < 10<sup>-4</sup>.** Ce résultat est hautement significatif.



**Fig. 8 :** Evolution des dégâts de *Spodoptera Frugiperda* après traitement avec le diffuseurs Paragri45 sur la parcelle 2 selon les dates d'observations

Les dégâts niveau 0 ont été observés dès 5<sup>ème</sup> jour après traitement jusqu'à la date de dernière observation, c'est-à-dire jusqu'au 60ème jour après traitement avec le diffuseur. Une légère diminution des dégâts du niveau 0 a été observée après D12 c'est-à-dire 48 jours après la pose du diffuseur sur la parcelle. Le tableau 6 indique le classement des dégâts sur la parcelle P2.

**Tableau 6 :** Classement des dégâts sur la parcelle P2

Modalité	Moyenne		Groupes	
	estimée			
5	0.313	A		
4	4.781	A	B	
1	7.937		B	C
2	8.687		B	C
3	11.469			C
0	66.813			D

Selon ce tableau 6, trois groupes homogènes sont obtenus à la suite de ce classement : le dégât niveau 0 est classé dans un groupe homogène D meilleur, le dégât niveau 3 dans le groupe C et celui du niveau 5 dans un groupe A. Les autres niveaux d'infestation ont été classés dans deux groupes intermédiaires AB et BC.

### 3.2.3. Variation des dégâts sur la parcelle P3

Les calendriers de réalisation des différentes observations sur la parcelle expérimentale P2 sont résumés dans le tableau 7

**Tableau 7: Calendriers des réalisations d'observations sur les parcelles P3**

Parcelle P3					
Numéro d'observation	Date d'observation	Nombre des jours après traitement	Numéro d'observation	Date d'observation	Nombre des jours après traitement
D1	09.02.18	1	D8	13.03.18	33
D2	10.02.18	2	D9	16.03.18	36
D3	13.02.18	5	D10	20.03.18 (début floraison)	40
D4	16.02.18	8	D11	26.03.18 (début floraison)	46
D5	21.02.18	13			
	22.02.18	14	D12	28.03.18	48
D6	27.02.18	19	D13	30.03.18	50
D7	02.03.18	22	D14	04.04.18	55
	<b>05.03.18</b>	<b>25</b>	D15	06.04.18	57
	<b>09.03.18</b>	<b>29</b>		09.04.18	60

Les résultats de l'analyse de variance des dégâts (niveau des dégâts) observés sur le terrain au stade végétatif sur la parcelle P3 figurent dans le tableau 8.

**Tableau 8 : Analyse de variance des dégâts aux stades végétatifs sur la parcelle P3**

Analyse de la variance :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	11	110937.667	10085.242	36.603	< 0,0001
Erreur	180	49595.000	275.528		
Total corrigé	191	160532.667			

Calculé contre le modèle  $Y = \text{Moyenne}(Y)$

**F = 16.274 à P < 10<sup>-4</sup>**

Ce résultat est hautement significatif.

Pour la parcelle P3, le niveau d'infestation est réparti dans deux groupes bien distincts A et B. Score 1 (dégât 0) est classé dans un Groupe B meilleur significativement différent de celui du groupe A avec un taux d'infestation élevé, selon test de Tukey (Tab. 9).

**Tableau 9 : Classement des dégâts selon Tukey sur la parcelle P3**

Niveau des dégâts	Moyenne estimée	Groupes
5	0.188	A
4	3.656	A
1	7.000	A
2	9.687	A
3	9.687	A
0	69.781	B

Ce résultat du test de Tukey est confirmé par le test de Fischer selon tableau 10 ci-contre.

**Tableau 10 :** Classement des dégâts selon Fisher sur la parcelle P3

Niveau des dégâts (score)	Moyenne estimée	Groupes	
5	0.188	A	
4	3.656	A	B
1	7.000	A	B
2	9.687		B
3	9.687		B
0	69.781		C

Le score 1 (dégât 0) est classé dans un Groupe C meilleur significativement différent de ceux des groupes A et B avec un taux d'infestation élevé (dégâts élevés) sur la parcelle P3, selon le test de Fisher.

#### **3.2.4. Variation des dégâts sur la parcelle P4**

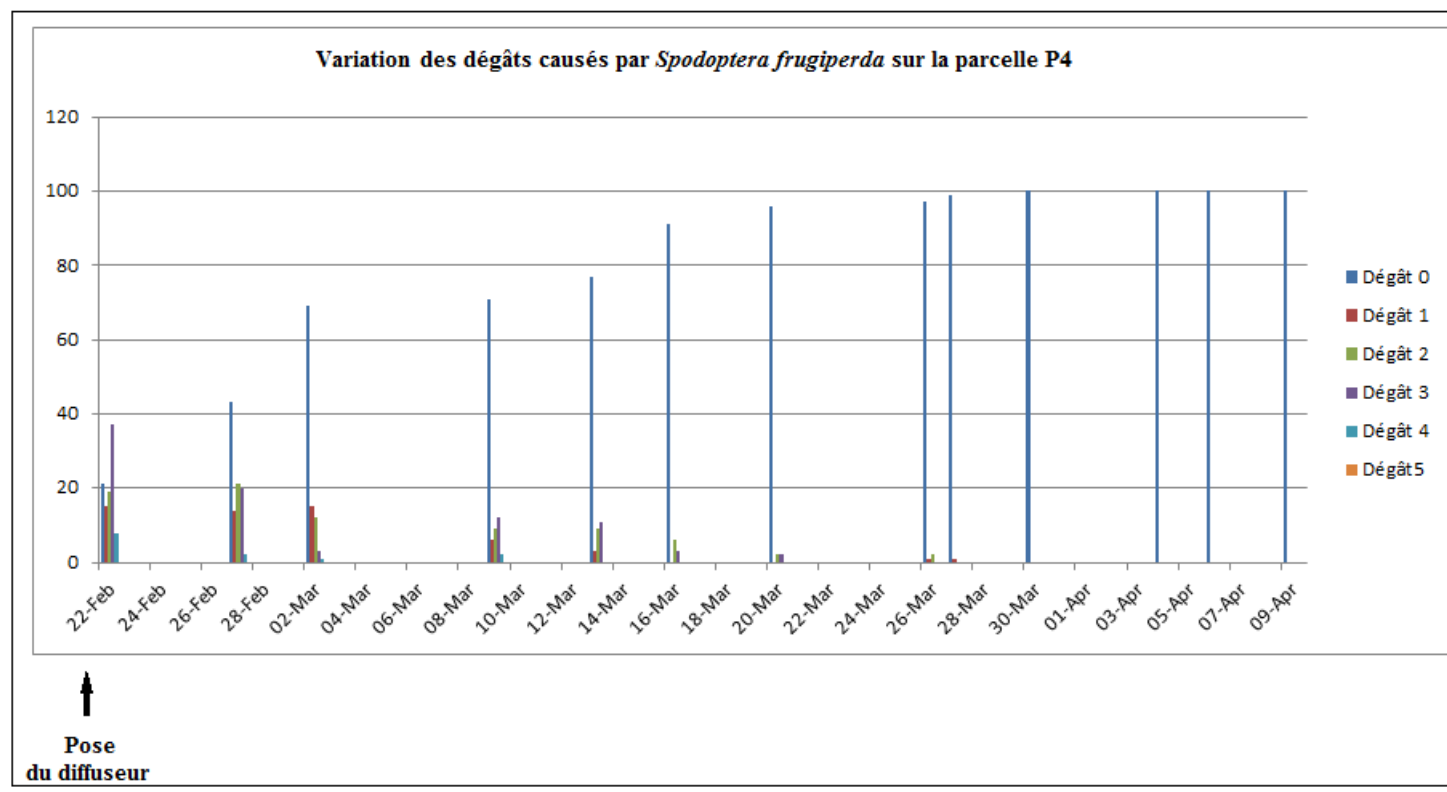
Le tableau 11 indique les calendriers des réalisations des observations sur la parcelle P4.

**Tableau 11:** Calendriers des réalisations des observations sur la parcelle P4

Parcelle P4					
Numéro d'observation	Date d'observation	Nombre des jours après traitement	Numéro d'observation	Date d'observation	Nombre des jours après traitement
-	Parcelle fortement infestée. Pose de diffuseur à la demande de la propriétaire de la parcelle	-	D5	13.03.18	20
-		-	D6	16.03.18	23
-		-	D7	20.03.18	27
-		-	D8	26.03.18	33
-		-	-		27.03.18
D0	22.02.18	1	D9		36

	<b>(pose 1<sup>er</sup> diffuseur)</b>				
D1	27.02.18	6	D10	30.03.18	37
D2	02.03.18	9	D11	04.04.18	42
D3			D12	06.04.18	44
D4	<b>09.03.18</b>	<b>16</b>		09.04.18	47

L'histogramme indiqué par la figure 9 nous montre la variation des dégâts après traitement avec le diffuseur sur la parcelle P4.



**Fig. 9 : Variation des dégâts causés par *Spodoptera frugiperda* sur la parcelle P4**

Selon la fig.9, aucun dégât causé par la chenille légionnaire n'a été observé à partir de 37<sup>ème</sup> jour (D10 =30 mars 2018) après traitement sur la parcelle P4.

Selon cette histogramme, le changement du niveau des dégâts, niveau 3 à un niveau 0 (dégât 0), est très net après traitement de la parcelle avec le diffuseur, seulement 5 jours après traitement. L'infestation a été faible voire nulle sur cette parcelle 34 jours après traitement avec le diffuseur.

Ce qui indique l'efficacité du produit testé. Ce résultat est confirmé statistiquement selon le tableau 12 suivant :

**Tableau 12** : Statistique des dégâts sur la parcelle P4

Analyse statistique de la

Variance : Parcelle P4                      Variation des dégâts

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	83	139396.897	1679.481	68.173	< 0,0001
Erreur	72	1773.769	24.636		
Total corrigé	155	141170.667			

*Calculé contre le modèle  $Y = \text{Moyenne}(Y)$*

Ce résultat est statistiquement hautement significatif. **F = 68.173 à P <10<sup>-4</sup>**

La classification hiérarchique obtenue selon l'analyse de Tukey pour la parcelle P4, montre que le niveau d'infestation, après traitement avec le diffuseur, est réparti dans quatre groupes bien distincts A, B, C et D. Dégât 0 classé dans le Groupe D meilleur selon test de Tukey (tab. 13).

**Tableau 13** : Classement du niveau des dégâts selon test de Tukey

Niveau des dégâts	Moyenne estimée	Groupes			
5	0.077	A			
4	1.538	A	B		
1	4.115		B	C	
2	6.731			C	
3	7.538			C	
0	80.000				D



### 3.3. Les dégâts observés sur les épis

Sur les épis, le trou d'entrée se situe à la base de l'épi. Les larves progressent dans l'épi en dévorant d'abord le centre puis la périphérie. Au stade ultime de l'attaque, il peut arriver que, sous l'enveloppe des spathes qui conserve un aspect normal, la structure de l'épi ait totalement disparue. Ce qui n'est pas le cas pour les épis observés sur la parcelle traitée avec le diffuseur Paragri45 (Cf. photos d'illustrations).

#### **Photo d'illustration des épis de maïs sur la parcelle traitée avec le diffuseur Paragri45 (Dernière observation du 04 juin 2018)**



**Fig. 10 : Parcelle de maïs traitée avec Paragri45 au FOFIFA CALA (04 juin 2018)**



**Fig. 11 : Observations des épis sur la parcelle traitée avec Paragri45 au FOFIFA CALA (04 juin 2018)**



**Fig. 10 : Epis de maïs attaqué par *le borer rose***



**Fig. 11 : Epis de maïs aucune attaque observée par *Spodoptera frugiperda***

Les épis de maïs sont bien formés et aucune attaque de la chenille légionnaire n'a été observée sur les 100 épis observés. Les spathes de chaque épi ont été ouvertes une à une pendant les observations pour rechercher le dégât causé par cette chenille. Cependant, des épis attaqués qui sont détruits par l'action d'autres ravageurs dont le borer rose *Sesamia calamistis* et de certains champignons (fig.12) sont observés sur la parcelle traitée avec le diffuseur Paragri45, avec un taux d'infestation très faible (1 épi sur 100).



**Fig 12** : Larve et dégât du borer rose observés sur l'épi de maïs  
(04 juin 2018)



**Fig. 13** : Epis de maïs attaqué par des champignons

Statistiquement, seules les analyses de variance des dégâts sur les épis sur les deux parcelles P2 et P4 sont significatives

### 3.3.1. Variation des dégâts sur les épis sur la parcelle P2

Les résultats sont présentés dans le tableau 14 et 15

Coefficients de régression

R<sup>2</sup> 0.998

R<sup>2</sup> ajusté 0.996

**Tableau 14** : ANOVA des dégâts sur les épis sur la parcelle P2

Analyse de la variance :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	46	79763.667	1733.993	360.248	< 0,0001
Erreur	25	120.333	4.813		
Total corrigé	71	79884.000			

F = 360.248 à P < 10<sup>-4</sup> : traitement significatif

Les classements selon Tukey et Fisher sont donnés dans les tableaux 15 et 16

**Tableau 15** : Classement du niveau des dégâts des épis sur la parcelle P2 selon test de Tukey

Modalité	Moyenne estimée	Groupes	
5	0.000	A	
4	0.083	A	
1	0.417	A	
2	3.917		B
3	5.000		B
0	90.583		C

L'analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% par Fisher (LSD) , toujours en termes de niveau des dégâts

**Tableau 16** : Classement du niveau des dégâts des épis sur la parcelle P2 selon test de Fisher

Modalité	Moyenne estimée	Groupes	
5	0.000	A	
4	0.083	A	
1	0.417	A	
2	3.917		B
3	5.000		B
0	90.583		C

En termes des dégâts, le niveau d'infestation 0 est toujours le meilleur, quel que soit le test réalisé. Tukey et Fisher ont permis de classer les différents niveau des dégâts en trois groupes homogènes A, B et C. C constitue le groupe meilleur avec le niveau d'infestation.

Des contrastes existent entre effet de traitement (Q1) et les niveaux d'infestation. Elles sont montrées par les classifications de Tukey et de Fisher dans les tableaux 17 et 18.

**Tableau 17** : Contraste entre traitement et les niveaux des dégâts sur les épis sur la parcelle P2 selon test de Tukey

Modalité	Moyenne estimée	Groupes	
Q1-T0*Q3-5	0.000	A	

Q1-T2*Q3-5	0.000	A		
Q1-T2*Q3-4	0.000	A		
Q1-T0*Q3-4	0.167	A	B	
Q1-T2*Q3-1	0.333	A	B	
Q1-T0*Q3-1	0.500	A	B	
Q1-T2*Q3-2	2.333	A	B	C
Q1-T0*Q3-3	4.667		B	C
Q1-T2*Q3-3	5.333			C
Q1-T0*Q3-2	5.500			C
Q1-T0*Q3-0	89.167			D
Q1-T2*Q3-0	92.000			D

La classification de Tukey met ensemble dans un groupe homogène D le niveau des dégâts 0 aussi bien pour le traitement T0 (témoin) que le traitement T1 avec le diffuseur

**Tableau 18 :** Contraste entre traitement et les niveaux des dégâts sur les épis sur la parcelle P2 selon test de Fisher

Modalité	Moyenne estimée	Groupes		
Q1-T0*Q3-5	0.000	A		
Q1-T2*Q3-5	0.000	A		
Q1-T2*Q3-4	0.000	A		
Q1-T0*Q3-4	0.167	A		
Q1-T2*Q3-1	0.333	A		
Q1-T0*Q3-1	0.500	A		
Q1-T2*Q3-2	2.333	A	B	
Q1-T0*Q3-3	4.667		B	C
Q1-T2*Q3-3	5.333			C
Q1-T0*Q3-2	5.500			C
Q1-T0*Q3-0	89.167			D
Q1-T2*Q3-0	92.000			E

Cependant, la classification de Fisher a séparé les deux traitements T0 et celui avec le diffuseur en deux groupes homogènes différents : groupe D pour T0 et groupe E pour T2 (traitement avec le diffuseur). Le groupe E est meilleur que le D.

**Q2\*Q3 / Tukey (HSD) / Analyse des différences entre les dates d'observations (Q2) et les niveaux des dégâts sur les épis (Q3) avec un intervalle de confiance à 95% selon Tukey sur la parcelle P2:**

**Tableau 19** : Classification des contrastes entre les dates d'observations et les niveaux des dégâts sur les épis sur la parcelle P2 selon test de Tukey

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
Q2-D0*Q3-5	0.000	A
Q2-D1*Q3-5	0.000	A
Q2-D2*Q3-5	0.000	A
Q2-D3*Q3-5	0.000	A
Q2-D4*Q3-5	0.000	A
Q2-D5*Q3-5	0.000	A
Q2-D0*Q3-4	0.000	A
Q2-D1*Q3-4	0.000	A
Q2-D3*Q3-4	0.000	A
Q2-D4*Q3-4	0.000	A
Q2-D5*Q3-4	0.000	A
Q2-D4*Q3-1	0.000	A
Q2-D5*Q3-1	0.000	A
Q2-D1*Q3-1	0.500	A
Q2-D2*Q3-4	0.500	A
Q2-D2*Q3-1	0.500	A
Q2-D0*Q3-1	0.500	A
Q2-D5*Q3-3	0.500	A
Q2-D3*Q3-1	1.000	A
Q2-D4*Q3-3	2.000	A
Q2-D4*Q3-2	2.000	A
Q2-D5*Q3-2	2.000	A
Q2-D2*Q3-2	2.500	A

Q2-D3*Q3-3	3.000	A			
Q2-D2*Q3-3	3.500	A			
Q2-D1*Q3-2	4.500	A			
Q2-D3*Q3-2	5.500	A	B		
Q2-D1*Q3-3	7.000	A	B		
Q2-D0*Q3-2	7.000	A	B		
Q2-D0*Q3-3	14.000		B		
Q2-D0*Q3-0	78.500			C	
Q2-D1*Q3-0	88.000				D
Q2-D3*Q3-0	90.500			D	E
Q2-D2*Q3-0	93.000			D	E
Q2-D4*Q3-0	96.000			D	E
Q2-D5*Q3-0	97.500				E

**Tableau 20** : Contrastes entre les dates d'observations et les niveaux des dégâts sur les épis sur la parcelle P2 selon test de Fisher

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
Q2-D0*Q3-5	0.000	A
Q2-D1*Q3-5	0.000	A
Q2-D2*Q3-5	0.000	A
Q2-D3*Q3-5	0.000	A
Q2-D4*Q3-5	0.000	A
Q2-D5*Q3-5	0.000	A
Q2-D0*Q3-4	0.000	A
Q2-D1*Q3-4	0.000	A
Q2-D3*Q3-4	0.000	A
Q2-D4*Q3-4	0.000	A
Q2-D5*Q3-4	0.000	A

Q2-D4*Q3-1	0.000	A							
Q2-D5*Q3-1	0.000	A							
Q2-D1*Q3-1	0.500	A							
Q2-D2*Q3-4	0.500	A							
Q2-D2*Q3-1	0.500	A							
Q2-D0*Q3-1	0.500	A							
Q2-D5*Q3-3	0.500	A							
Q2-D3*Q3-1	1.000	A	B						
Q2-D4*Q3-3	2.000	A	B						
Q2-D4*Q3-2	2.000	A	B						
Q2-D5*Q3-2	2.000	A	B						
Q2-D2*Q3-2	2.500	A	B	C					
Q2-D3*Q3-3	3.000	A	B	C					
Q2-D2*Q3-3	3.500	A	B	C					
Q2-D1*Q3-2	4.500	A	B	C					
Q2-D3*Q3-2	5.500		B	C					
Q2-D1*Q3-3	7.000			C					
Q2-D0*Q3-2	7.000			C					
Q2-D0*Q3-3	14.000				D				
Q2-D0*Q3-0	78.500					E			
Q2-D1*Q3-0	88.000						F		
Q2-D3*Q3-0	90.500						F	G	
Q2-D2*Q3-0	93.000							G	H
Q2-D4*Q3-0	96.000								H
Q2-D5*Q3-0	97.500								H

Selon ces deux tableaux, les niveaux d'infestation 0 appartiennent toujours à des groupes meilleurs par rapport aux autres niveaux d'infestation. Selon classification de Fisher qui est plus précise, ils appartiennent à deux groupes hétérogènes aux dates D1 (groupe intermédiaire FG) et D2 (groupe intermédiaire GH), respectivement 1 et 2 jours après mise en place du diffuseur sur la parcelle, son effet reste encore indiscernée, puis par la suite très net à partir de D4 et D5.



### 3.3.2. Variation des dégâts sur les épis sur la parcelle P4

Les résultats sont présentés dans le tableau 15

**Tableau 21:** Statistique et ANOVA des dégâts sur les épis sur la parcelle P4

Les coefficients de regression des dégâts observés sur les épis sur la parcelle P4 sont voisins de 1.

R <sup>2</sup>	0.999
R <sup>2</sup> ajusté	0.997

Analyse de la variance :

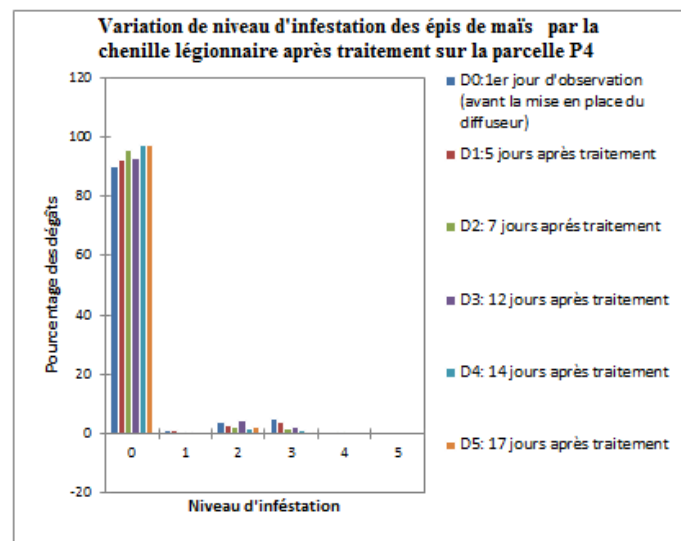
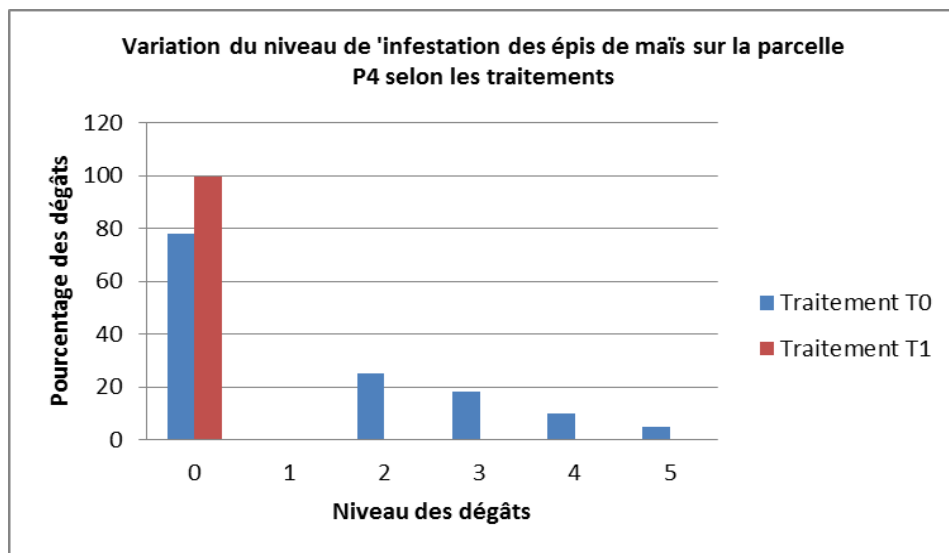
Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	46	87560.500	1903.489	451.064	< 0,0001
Erreur	25	105.500	4.220		
Total corrigé	71	87666.000			

F = 451.064 à P < 10<sup>-4</sup> : traitement significatif

En termes des dégâts, la classification de Tukey permet d'avoir 3 groupes bien homogènes A, B et C. Le groupe C renfermant le niveau du dégât 0, sans attaque est toujours le meilleur (Tab.22).

**Tableau 22 :** Classement du niveau des dégâts des épis selon test de Tukey sur la parcelle P4

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
5	0.000	A
4	0.083	A
1	0.417	A
2	3.917	B
3	5.000	B
0	90.583	C



**Fig.14 :** Variation du niveau d'infestation des épis du maïs sur la parcelle P4 selon les traitements

Selon ces histogrammes, la parcelle témoin qui n'a reçu aucun traitement présente des niveaux des dégâts et symptômes d'infestation des épis (Fig.14). Ce qui n'est pas le cas pour la parcelle traitée avec le diffuseur.

**Fig.15 :** Variation du niveau d'infestation des épis du maïs sur la parcelle P4 selon les dates d'observations

En terme d'efficacité du diffuseur après son application, selon que le temps du dépôt du diffuseur sur la parcelle augmente, le niveau des dégâts par la chenille légionnaire est 0. Ce taux de niveau des dégâts 0 atteint presque 100% 17 jours après traitement (Fig.15).

### 3.4. Résultats des analyses des moyennes des dégâts sur trois parcelles P1, P2 et P3

La mise en place des diffuseurs sur la parcelle P4 est différente de celles des trois autres parcelles P1, P2 et P3 selon le tableau 2. Nous avons alors analysé à part les résultats issus de la parcelle P4. Par conséquent, les analyses des moyennes des dégâts ont été déduites des données recueillies sur trois répétitions sur ces trois parcelles.

En analysant ensemble les dégâts observés sur les trois parcelles P1, P2 et P3, donc en considérant les répétitions dans l'espace (parcelle P1 correspond à la répétition R1 et ainsi de suite...), des résultats similaires à ceux obtenus antérieurement sur chacune de ces trois parcelles, ont été obtenus. Les analyses statistiques ont donné des coefficients de corrélation voisin de 1.

**Tableau 23:** Analyse de variance des moyennes des dégâts sur les trois parcelles P1, P2 et P3

R <sup>2</sup>	0.939
R <sup>2</sup> ajusté	0.915

L'analyse de variance des moyennes des dégâts sur les trois parcelles, a montré un test hautement significatif (Tableau 23)

**Tableau 24 :** Analyse de variance des moyennes des dégâts sur les trois parcelles P1, P2 et P3

Analyse de la variance :					
Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	160	418312.750	2614.455	39.585	< 0,0001
Erreur	415	27409.250	66.046		
Total corrigé	575	445722.000			

Calculé contre le modèle  $Y = \text{Moyenne}(Y)$

Test significatif:  $F = 39.585$  à  $P < 10^{-4}$

L'évolution des moyennes du niveau des dégâts après traitement avec le diffuseur Paragri45, sur les trois parcelles P1, P2 et P3, sont montrées par les courbes de la figure 16

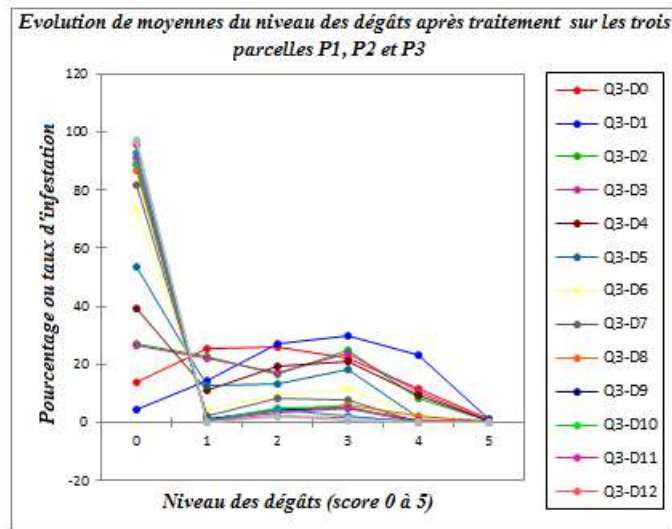


Fig. 16 : L'évolution des moyennes du niveau des dégâts après traitement sur les trois parcelles P1, P2 et P3

➤ **Résultats test de Tukey sur analyses des moyennes des dégâts sur les trois parcelles P1, P2 et P3** : La classification obtenue par le test de Tukey pour les moyennes des niveaux des dégâts sur les trois parcelles est donnée dans le tableau 25.

Tableau 25 : La classification obtenue par le test de Tukey pour les moyennes des niveaux des dégâts sur les trois parcelles

Tukey			
Niveau des dégâts	Moyenne estimée	Groupes	
5	0.281	A	
4	4.354	B	
1	7.406	B	C
2	10.219	C	
			D

3	11.594	D
0	66.146	E

Selon la classification de Tukey, le même résultat est toujours obtenu : le dégât est très faible sur la parcelle traitée avec le diffuseur. Cinq groupes sont obtenus dont 04 homogènes A, B, D et E. Le groupe E homogène sans dégâts (score 1) forme le groupe à meilleur résultat. Il existe également deux autres groupes intermédiaires (BC et CD).

- L'analyse de Fisher (LSD) sur les différences entre moyennes des niveaux des dégâts avec un intervalle de confiance à 95%, donne les résultats indiqués dans le tableau 26

**Tableau 26 : L'analyse de Fisher (LSD) sur les différences entre les niveaux des dégâts avec un intervalle de confiance à 95%,**

Fisher		
Niveau des dégâts	Moyenne estimée	Groupes
5	0.281	A
4	4.354	B
1	7.406	C
2	10.219	D
3	11.594	D
0	66.146	E

Comme résultats, en termes des niveaux des dégâts, les taux d'infestations des parcelles par la chenille légionnaire diminuent nettement dès 5 jours après application du diffuseur sur la parcelle.

### 3.5. Variation des populations de la chenille légionnaire sur les parcelles traitées avec le diffuseur ParAgri45

#### 3.5.1. Variation des moyennes des populations de la chenille légionnaire sur les trois parcelles P1, P2 et P3

Pour l'ensemble des trois parcelles, dès les 24 h qui suivent la pose des diffuseurs, un changement de comportement alimentaire est observé : les chenilles légionnaires ne peuvent plus s'alimenter. Ce fait est observé sur l'ensemble des parcelles. Nous avons également observé des chenilles mortes au bout déjà de 2 à 5 jours. Les adultes (papillons) ne peuvent pondre et sont chassés complètement du champ 45 jours après traitement. Les diffuseurs ont un impact sur la fécondité de la femelle de *Spodoptera frugiperda*.

#### Coefficients de Régression

R <sup>2</sup>	0.773
R <sup>2</sup> ajusté	0.690

**Tableau 27: Analyse de variance des moyennes des populations de chenille légionnaire sur les trois parcelles P1, P2 et P3**

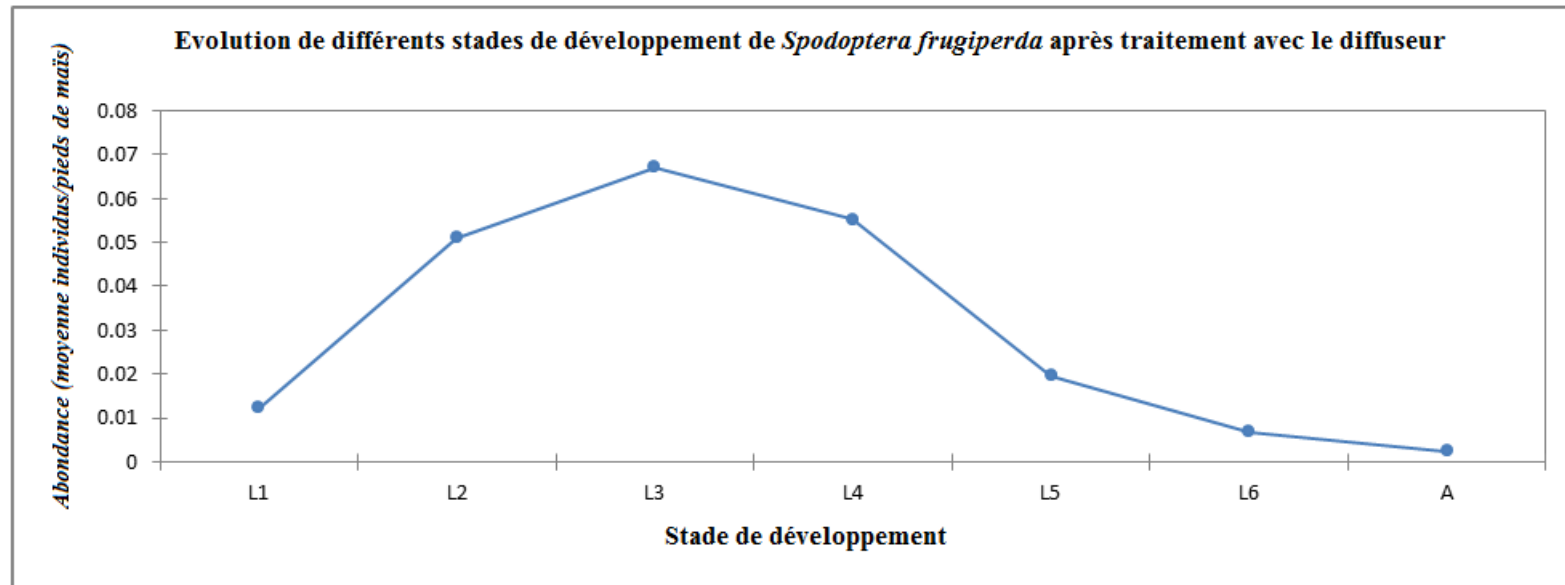
Analyse de la variance :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	179	1.644	0.009	9.347	< 0,
Erreur	492	0.483	0.001		
Total corrigé	671	2.127			

Calculé contre le modèle  $Y = \text{Moyenne}(Y)$

Test significatif  $F = 9.347$  à  $P < 10^{-4}$

La courbe de la figure 17 nous montre l'évolution de différents stades de développement de la chenille après traitement avec les diffuseurs.



**Figure 17** : Evolution des différents stades de développement de *Spodoptera frugiperda* après traitement

Selon cette courbe, l'abondance de la population larvaire augmente jusqu'à L3, puis diminue jusqu'à devenir nulle chez adulte. Il n'y a pas de formations d'adultes en présence du diffuseur.

En termes de traitement, la classification de Tukey a permis de voir deux groupes homogènes

**Tableau 26** : Classification des moyennes des abondances des populations de la chenille légionnaire sur les parcelles P1, P2 et P3 selon Tukey

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
T1	0.027	A
T0	0.034	B

Les larves sont abondantes dans la parcelle témoin. Le traitement T1 appartient à un groupe homogène avec une population de chenille moins abondante par rapport au tra témoin se trouvant dans un autre groupe homogène avec une abondance de chenille plus élevée.

Comme avec les dégâts, le test de Fisher confirme cette catégorisation

**Tableau 27** : Classification des moyennes des abondances des populations de la chenille légionnaire sur les parcelles P1, P2 et P3 selon les traitements selon Fisher

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
T1	0.027	A
T0	0.034	B

**Tableau 28** : Classification des moyennes des abondances des populations de différents stades de la chenille légionnaire sur les parcelles P1, P2 et P3 selon selon Tukey

Tukey		
Modalité	Moyenne estimée	Groupes
A	0.002	A
L6	0.007	A B
L1	0.012	A B
L5	0.020	B
L2	0.051	C
L4	0.055	C D
L3	0.067	D

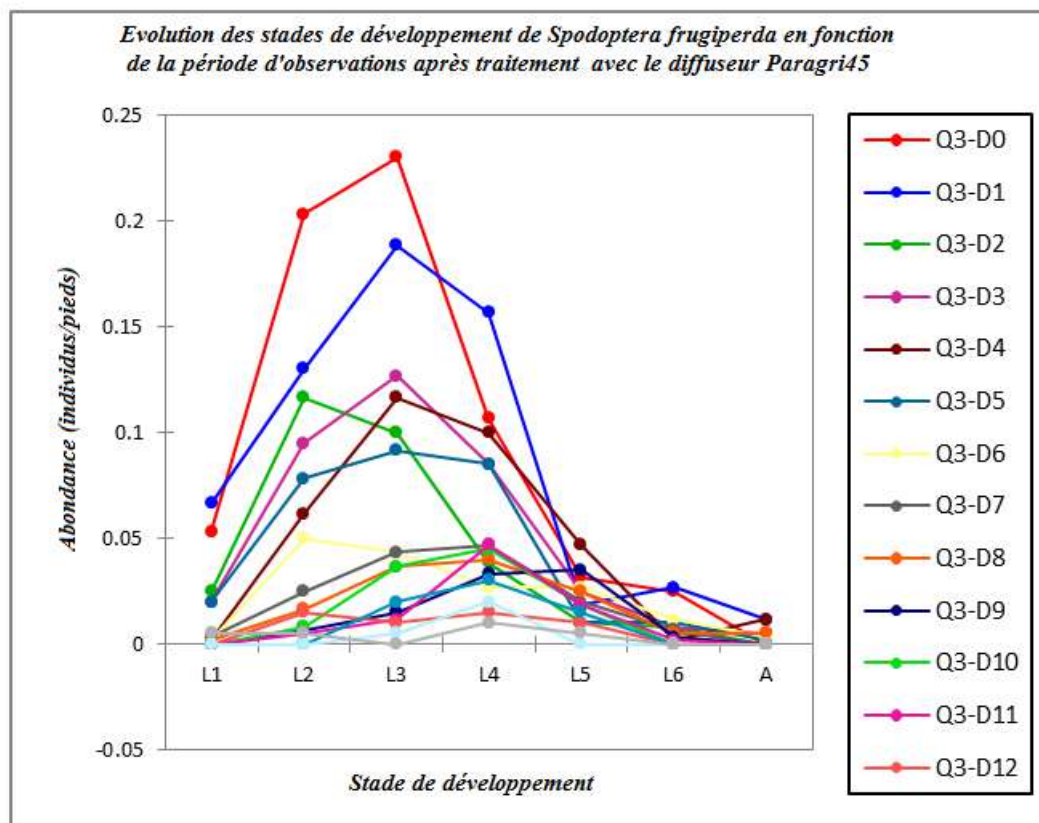
Des résultats similaires qu’auparavant sont obtenus avec le test de Fisher (Tableau 29)

**Tableau 29** : Classification des moyennes des abondances des populations de différents stades de la chenille légionnaire sur les parcelles P1, P2 et P3 selon selon Fisher

Fisher		
Modalité	Moyenne estimée	Groupes
A	0.002	A
L6	0.007	A B
L1	0.012	B C
L5	0.020	C
L2	0.051	D
L4	0.055	D
L3	0.067	



Selon les tableaux 28 et 29, les larves du troisième stade sont abondantes que L4 et L2. Les larves du troisième stade sont sur le point de se transformer en L4 au moment des observations. Elles ne se transforment pas toutes en L4 d'où la diminution de la population. Cette diminution continue jusqu'au stade adulte. Ils se forment très peu d'adulte après traitement avec les diffuseurs. Par conséquent, il y a moins d'œufs pondus et une faible abondance de la population des larves du premier stade.



**Figure 18 :** Evolution des différents stades de développement de *Spodoptera frugiperda* après traitement

Juste après la mise en place des diffuseurs au temps D0, les larves se nourrissent puis s'arrêtent de nourrir, d'où la diminution des populations de la chenille en présence des diffuseurs. De D0 à D12, l'abondance des populations de la chenille diminue nettement selon cette courbe de la figure 18.

D'une manière générale, les larves du premier stade observées lors du comptage au temps D0, avant la mise en place du diffuseur, ont d'une certaine abondance. Elles continuent à se développer, se transformer en larves du deuxième et troisième stade. Puis les populations larvaires diminuent de L4 jusqu'au stade L6, pour devenir très faible voire nulle pour la population des adultes.

L'allure générale des courbes était toujours la même, à quelque exception près. Les adultes ont une abondance très faible voire nuls. Ils ne se forment pas des adultes en présence des diffuseurs.

**Tableau 30** : Classification des contrastes entre les moyennes des abondances des populations de différents stades de la chenille légionnaire sur les parcelles P1, P2 et P3 selon les dates d'observations (Q2) et selon les traitements (Q1) selon Tukey

Modalité	Moyenne estimée	Groupes		
Q1-R3*Q2-T1	0.013	A		
Q1-R2*Q2-T1	0.024	A	B	
Q1-R2*Q2-T0	0.034		B	C
Q1-R3*Q2-T0	0.034		B	C
Q1-R1*Q2-T0	0.034		B	C
Q1-R1*Q2-T1	0.046			C

Q1\*Q2 / Fisher (LSD) / Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% :

**Tableau 31** : Classification des contrastes entre les moyennes des abondances des populations de différents stades de la chenille légionnaire sur les parcelles P1, P2 et P3 selon les dates d'observations (Q2) et selon les traitements (Q1) selon Fisher.

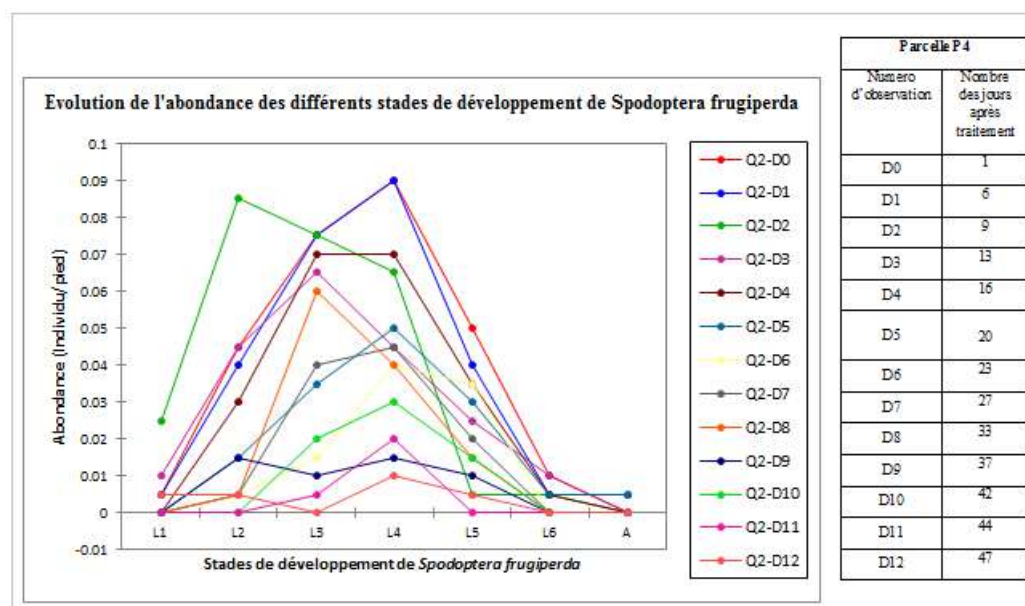
Modalité	Moyenne estimée	Groupes		
Q1-R3*Q2-T1	0.013	A		
Q1-R2*Q2-T1	0.024		B	
Q1-R2*Q2-T0	0.034			C
Q1-R3*Q2-T0	0.034			C
Q1-R1*Q2-T0	0.034			C
Q1-R1*Q2-T1	0.046			D

Les différentes classes sont réparties dans quatre groupes homogènes bien distincts pour le traitement 1 : A, B et D et un groupe homogène C pour le traitement T0.

Ces résultats de Fisher sont hétérogènes selon les parcelles de répétition. D'une manière générale, les populations sont nettement moins abondantes dans la parcelle traitée avec le diffuseur.

### 3.5.2. Variation des moyennes des populations de la chenille légionnaire sur la parcelle P4

La courbe suivante montre l'évolution de l'abondance des populations larvaires de la chenille légionnaire sur la culture de maïs sur la parcelle 4.



**Fig. 19 : Evolution de l'abondance de différents de stade développement de *Spodoptera frugiperda***

Selon cette courbe, l'abondance de la population larvaire diminue dans la parcelle traitée (traitement T1) par rapport à celle du témoin T. L'analyse statistique montre que cette différence n'est pas significative. La raison est l'application tardive du diffuseur sur la parcelle. Coefficient de régression pour le traitement

**Analyse d'abondance de la population larvaire sur la parcelle traitée.**

R<sup>2</sup> 0.987

R<sup>2</sup> ajusté 0.973

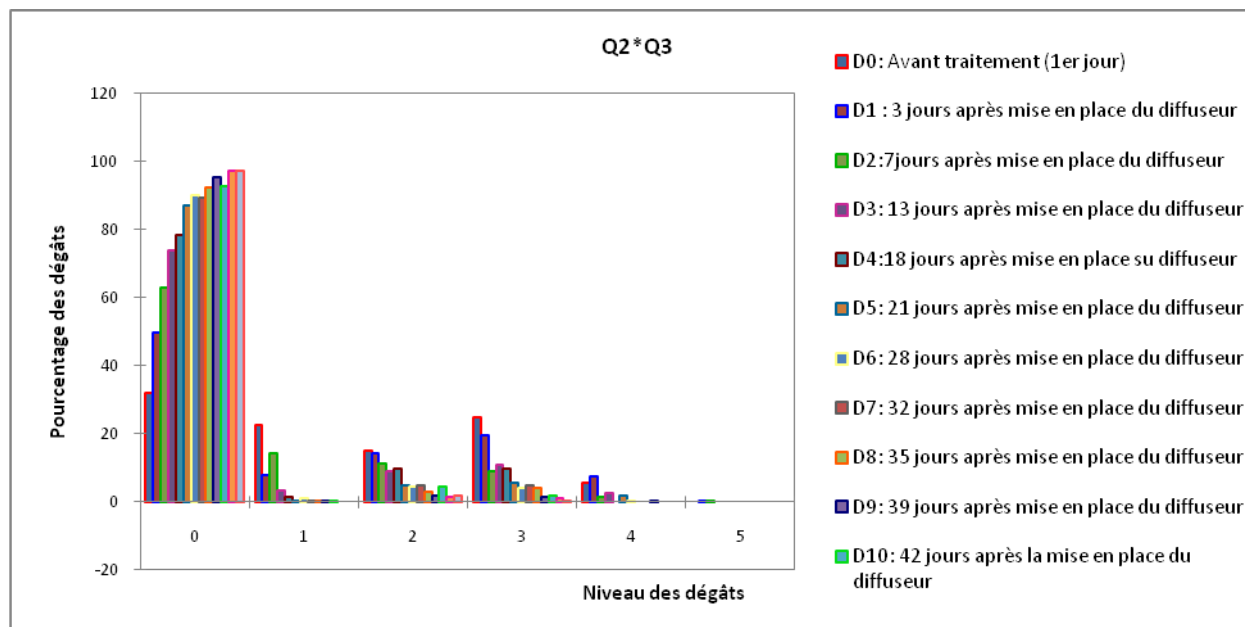
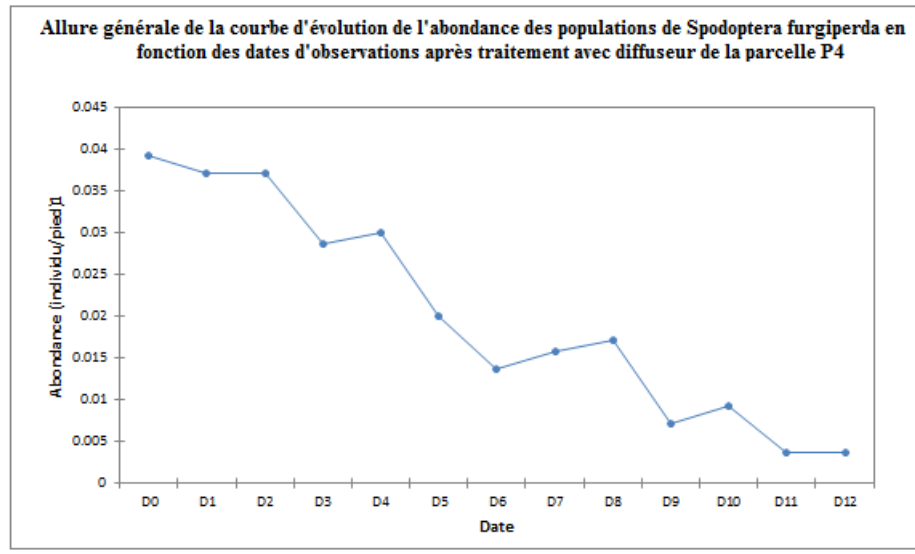
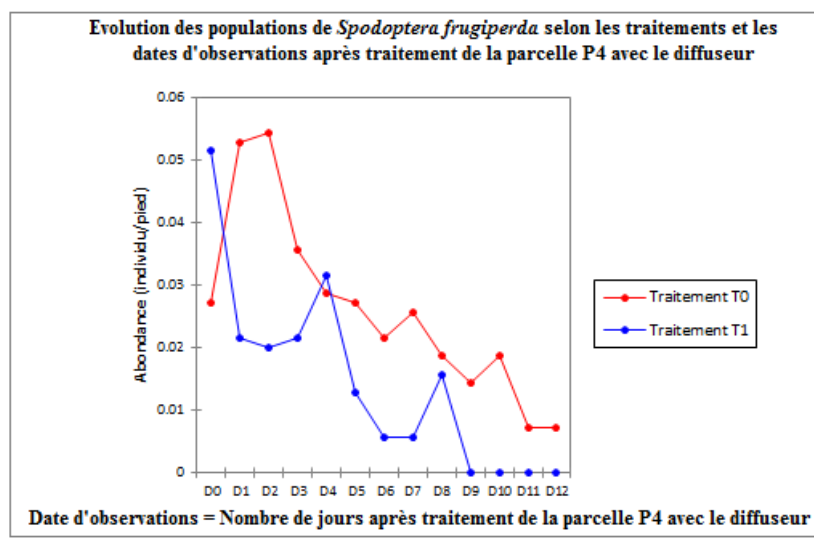


Fig. 20 : Variation des abondances de stade de développement de *Spodoptera frugiperda* selon les dates d'observations



**Fig. 21** : Allure générale de la courbe d'évolution de l'abondance des populations de *Spodoptera frugiperda* en fonction des dates d'observations après traitement avec diffuseur de la parcelle P4

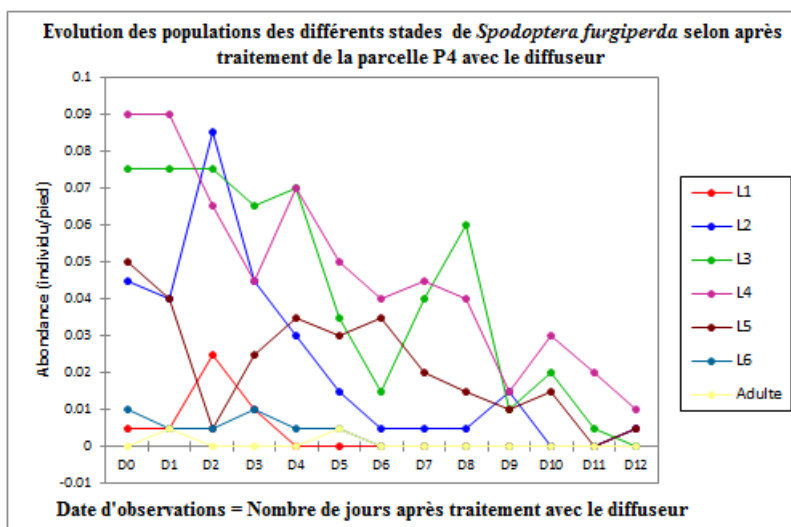


**Fig. 22** : Evolution des populations de *Spodoptera frugiperda* selon les traitements et les dates d'observations après traitement de la parcelle P4 avec diffuseur

Selon ces courbes, pratiquement au-delà de D9 (37 jours après traitement au diffuseur), l'abondance de la population est nulle. Aucune chenille légionnaire n'a été observée sur la parcelle P4 traitée avec le diffuseur si elle est encore présente dans la parcelle témoin T0 non traitée.

En termes d'abondance de la population de la chenille légionnaire sur la parcelle P4, les différences sont nettes et statistiquement significatives entre les dates D12, D11, D9, D10, D6, D7, D8 et D5 vs D0, D2 et D1. L'abondance de la population de la chenille diminue

nettement à partir de D1 c'est-à-dire trois jours après mise en place du diffuseur sur la parcelle pour devenir nulle à partir de 37<sup>ème</sup> jour après traitement.



**Fig. 23 :** Evolution des population des différents de stade de *Spodoptera frugiperda* selon après traitement de la parcelle P4 avec le diffuseur

**Tableau 32 :** Analyse des populations des différents de stade de *Spodoptera frugiperda* selon après traitement de la parcelle P4 avec le diffuseur par le test Tukey (HSD)

Q1 / Tukey (HSD) / Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% :

Contraste entre traitements	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
T1 vs T0	-0.012	-3.920	1.993	0.000	Oui
Valeur critique du d de Tukey :			2.819		
Traitements	Moyenne estimée	Groupes			
T1	0.014	A			
T0	0.026	B			

Les résultats de l'analyse LSD de Fisher sont indiqués dans le tableau 33

**Tableau 33 :** Analyse des contrastes des traitements avec le diffuseur selon l'abondance des populations des différents de stade de *Spodoptera frugiperda* sur la parcelle P4 par le test de Fisher (LSD)

Analyse des différences entre les traitements sur la parcelle P4 avec un intervalle de confiance à 95% selon Fisher:

Contraste	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
T1 vs T0	-0.012	-3.920	1.993	0.000	Oui
Classification de Fisher					
Traitement	Moyenne estimée	Groupes			

T1	0.014	A	
T0	0.026		B

**Tableau 34 :** Contrastes entre les différentes dates d'observations en fonction de l'abondance des populations de chenille légionnaire après traitement avec diffuseur sur la parcelle P4 par l'analyse de Tukey

Tukey				
Nombre de jours après traitement	Moyenne estimée abondance	Groupes		
D12	0.004	A		
D11	0.004	A		
D9	0.007	A	B	
D10	0.009	A	B	
D6	0.014	A	B	C
D7	0.016	A	B	C
D8	0.017	A	B	C
D5	0.020	A	B	C
D3	0.029	A	B	C
D4	0.030		B	C
D1	0.037			C
D2	0.037			C
D0	0.039			C

Selon ce tableau de classification de Tukey, avec un intervalle de confiance égale à 95%, les résultats obtenus au temps D12 (47 jours après traitement) et D11 sont différents de ceux obtenus aux temps D0, D2, 12 et D4, respectivement 1, 9, 6 et 15 jours après traitement avec diffuseur. Ces derniers groupés en un groupe homogène C avec dégâts élevés par rapport à la date D12 et D11 classées en un groupe homogène A à faible taux d'infestation.

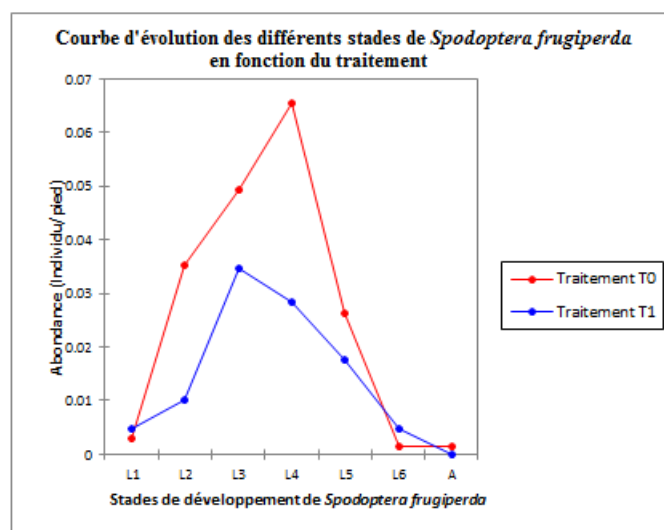
**Tableau 35 :** Contrastes entre les différentes dates d'observations en fonction de l'abondance des populations de chenille légionnaire après traitement avec diffuseur sur la parcelle P4 par l'analyse de Tukey

Fisher						
Nombre de jours après traitement	Moyenne estimée (abondance)	Groupes				
D12	0.004	A				
D11	0.004	A				
D9	0.007	A	B			
D10	0.009	A	B			
D6	0.014	A	B	C		
D7	0.016	A	B	C	D	
D8	0.017	A	B	C	D	
D5	0.020		B	C	D	
D3	0.029			C	D	E
D4	0.030				D	E

D1	0.037	E
D2	0.037	E
D0	0.039	E

Selon le classement obtenu après test de Fisher (LSD) / selon analyse des différences entre les modalités (nombre de jours après traitement) avec un intervalle de confiance à 95%, il ne fait que confirmer les contrastes entre D12 vs D0, D2 et D1 et aussi D11 vs ces trois dates toujours et auxquelles s'ajoutent D3 et D5. Il en est de même pour D11 vs D3 et D5.

L'évolution de l'abondance des populations de la chenille en fonction de traitement sur la parcelle P4 est indiquée sur la figure



**Fig. 24 :** Courbe d'évolution des différents stades de *Spodoptera frugiperda* en fonction du traitement

En termes des dégâts occasionnés par les différents stades de la chenille légionnaire sur maïs, le test de Tukey (HSD) / Analyse des différences entre les dégâts selon les stades avec un intervalle de confiance à 95%, ce test aboutit au groupement suivant (tableau. ) :

**Tableau 36 :** Classification de l'abondance des différents stades de *Spodoptera frugiperda* sur la parcelle P4 après traitement d'après l'analyse de Tukey

Tukey		
Stade de développement	Moyenne estimée (abondance)	Groupes
Adulte	0.001	A
L6 (larve de 6 <sup>ème</sup> stade)	0.003	A
L1	0.004	A
L5	0.022	B
L2	0.023	B
L3	0.042	C
L4	0.047	C



Des résultats similaires sont obtenus avec le test de Fisher confirmant le fait que l'abondance de la population des adultes est très faible voire nulle sur une parcelle traitée avec le diffuseur, selon Fisher.

**Tableau 37:** Classification de l'abondance des différents stades de *Spodoptera frugiperda* sur la parcelle P4 après traitement selon l'analyse de Fisher.

Fisher		
Stade de développement	Moyenne estimée	Groupes
A	0.001	A
L6	0.003	A
L1	0.004	A
L5	0.022	B
L2	0.023	B
L3	0.042	C
L4	0.047	C

#### 4. DISCUSSION GENERALE

L'examen du comportement des larves et de la mortalité larvaire de la chenille légionnaire de maïs après la pose des diffuseurs dans la parcelle, met en évidence que l'huile essentielle inhibe fortement le déplacement et le développement larvaires. Par ailleurs, le nombre des larves observées diminuent nettement. C'est que le cycle reproductif de l'insecte est totalement interrompu en présence du diffuseur.

Les plantes aromatiques étudiées manifestent une toxicité sur *Spodoptera frugiperda* et provoquent une inhibition de la reproduction. Toutes abaissent significativement la fécondité ; les développements larvaires et les œufs pondus ont diminué.

Connues dès l'antiquité pour leurs propriétés médicinales condimentaires et alimentaires, les plantes aromatiques sont également utilisées dans de nombreux domaines industriels : parfumerie, cosmétique, chimie fine (chimiosynthèse et biotransformation), aromatique, agroalimentaire, pharmacie, etc. A ces secteurs pourrait s'ajouter un nouveau développement industriel dans le domaine phytosanitaire. En effet, outre des propriétés antiseptiques et antifongiques (Benjilali et al., 1984; Aboutabl et al., 1986), les plantes aromatiques présentent des propriétés insecticides qui s'exercent d'une part par effet létal de type inhalatrice sur les adultes et d'autre part se manifestent par une inhibition de la reproduction : diminution de la fécondité accompagnée d'activités ovicide et larvicide. A côté de cette action des composés volatils, un effet antinutritionnel larvicide est produit par les huiles essentielles.

A la lumière des résultats ici obtenus, le produit Paragri45 testé permet de contrôler la population de la chenille légionnaire sur les cultures de maïs cultivées sur les parcelles faisant l'objet des observations.

Le diffuseur Paragri45 est fait d'une association de plusieurs huiles essentielles soigneusement sélectionnées et méticuleusement dosées. De ce fait, elles forment une synergie qui amplifie le pouvoir de chacune d'elles. Le sachet en polyéthylène qui loge la solution est poreux à l'air. Dès l'ouverture du sachet protecteur hermétique en alu, retenant la diffusion, le sachet en polyéthylène fermé au contact de l'oxygène, laisse les composants les plus volatiles de la formule s'échapper, tout en freinant leur vitesse de diffusion, pour assurer sa longue durée.

Du fait de leur volatilité, ces composants se propagent dans l'atmosphère, entraînés par le vent tout le long des champs agricoles à raison de 30 mètres sur leur largeur, et 30m sur leur

longueur. Les doses de matières actives, disséminées sur 900 m<sup>2</sup> sont par conséquent infinitésimales, mais suffisantes pour tuer les chenilles légionnaires présentes au champ.

Les dégâts causés par cette chenille sont maîtrisés dans les champs traités selon les résultats. Les larves n'arrivent pas à terminer leur cycle pour donner des adultes d'où la faible abondance de la population des adultes en présence du diffuseur.

Par conséquent, l'utilisation du diffuseur Paragri45 représente une alternative de choix aux molécules chimiques, de plus en plus sujettes aux résistances des cibles. La chenille légionnaire constitue un fléau national à Madagascar. L'efficacité observée lors du test de ce produit bio, produit respectant l'environnement permet de contrôler les populations de la chenille légionnaire *Spodoptera frugiperda*.

Parmi les substances semi chimiques affectant le comportement des insectes, les molécules allelochimiques interviennent dans les relations interspécifiques et se définissent comme des composés non nutritifs qui sont produits par un organisme et affectent la biologie ou le comportement d'organismes d'espèces différentes. Les molécules allelochimiques végétales présentent une grande variété d'effets sur les insectes : substances défensives répulsives ou dissuadantes, antiphagostimulantes etc. Ces composés agissent à faible dose et appartiennent le plus souvent au métabolisme secondaire végétal.

Melia azedarach, ail, thym, *Lemon grass* et le niaoulé (Cynéol) ont été extraites des plantes pour recueillir les huiles essentielles pour en fabriquer le Paragri45.

On connaît que les huiles essentielles du thym inhibent totalement la fécondité selon la littérature. Le cycle reproductif de l'insecte est totalement interrompu en présence d'huiles essentielles de thym, thym serpolet, romarin, basilic et persil.

Les huiles essentielles extraites de thym inhibent totalement les émergences dès la plus faible concentration

Constituants majoritaires des huiles essentielles, les composés mono terpéniques et dérivés isoprénoides manifestent également une toxicité inhalatrice sur les insectes adultes.

L'activité insecticide des plantes aromatiques s'exerce à deux niveaux : un effet létal sur les populations adultes et une inhibition de la reproduction. Les plantes les plus actives appartiennent à la famille des Labiées. Après extraction des huiles essentielles, l'étude de l'activité biologique sur les

insectes des différentes fractions botaniques montre que l'effet insecticide n'est pas le fait du seul extrait hydro distillé. L'activité protectrice des plantes aromatiques résulte de l'action de plusieurs composés allelochimiques, notamment terpéniques et polyphénoliques, que les plantes synthétisent au cours du métabolisme secondaire. L'utilisation de ces molécules dans le cadre de la lutte Eco chimique pourrait contribuer à diversifier les méthodes de lutte contre les insectes ravageurs des cultures.

Enfin, Paragri45 présente aux champs une rémanence de 45 jours. Les mélanges composant l'insecticide ont un effet additif et synergique. Comme le diffuseur a été utilisé dès la levée des plants jusqu'au moment de la récolte, il faut renouveler au moins une fois le diffuseur pour un champ si on veut le protéger de l'attaque de la chenille légionnaire le long de leur croissance, particulièrement contre les dégâts au cours des stades végétatifs et stade de la reproduction. Cette durée de rémanence permet de réduire le coût malgré l'obligation de renouvellement du diffuseur jusqu'à la récolte.

## CONCLUSION

Les plantes aromatiques contiennent de substances insecticides ou insectifuges pouvant être utilisées à grande échelle dans la protection des plantes. En effet, elles diminuent les populations d'insectes phytophages par une double action : une toxicité inhalatrice exercée sur les adultes ainsi qu'une inhibition de la reproduction. A côté de l'activité des composés allelochimiques volatils, un effet antinutritionnel à caractère larvicide est produit par les huiles essentielles. Les molécules allelochimiques à caractères insecticide pourrait

constituer une approche alternative ou complémentaire aux traitements classiques et permettre ainsi de diversifier les méthodes de lutte contre les insectes ravageurs des plantes.

Tel est le cas du diffuseur testé.

L'utilisation des molécules allelochimiques des plantes aromatiques dans des formulations aptes à contrôler les insectes pourrait constituer une approche alternative complémentaire aux traitements insecticides classiques. Multiplier les types de traitement, diversifier les cibles biochimiques et physiologiques chez l'insecte pour lutter contre les phénomènes de résistance, rechercher des associations synergiques de molécules permettraient sans aucun doute de réduire les doses efficaces des substances insecticides.

Le diffuseur Paragri45 pourrait bien être ce produit utilisé pour lutter contre la chenille légionnaire, tout en préservant la santé des utilisateurs et manipulateurs, celle des consommateurs des produits récoltés issues des parcelles traitées, et enfin l'environnement agro écologique.

