**UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR**
**ECOLE DOCTORALE SCIENCES DE LA VIE, DE LA SANTE ET DE L'ENVIRONNEMENT**
**FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES**

**Année : 2021** **N° d'ordre : 202113**

**THESE DE DOCTORAT UNIQUE**

**Mention : Biologie, Productions et Pathologies animales**

**Spécialité : Entomologie**

**Présentée par :**

**Mlle Banna SANE**

# Efficacité biologique des extraits d'*Azadirachta indica* A. Juss, *Hyptis suaveolens* (L.) Poit et *Anacardium occidentale* Linn. dans la lutte contre *Helicoverpa armigera* (Hübner, 1808) (Lepidoptera, Noctuidae) ravageur du cotonnier (*Gossypium hirsutum* L.) au Sénégal

Soutenue le 30 juin 2021 devant le jury composé de :

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Président :** | **M. Ousmane FAYE** | **Professeur Titulaire** | **UCAD** |
| **Rapporteur :** | **M. Saliou NDIAYE** | **Professeur Titulaire** | **ENSA/Univ. Thiès** |
| **Rapporteur :** | **M. Papa Ibnou NDIAYE** | **Professeur Assimilé** | **UCAD** |
| **Rapporteur :** | **M. Saliou FALL** | **Directeur de Recherches** | **ISRA** |
| **Examinateur :** | **M. Karamoko DIARRA** | **Professeur Titulaire** | **UCAD** |
| **Examinateur :** | **M. Djibril BADIANE** | **Chargé de Recherches** | **ISRA** |
| **Directeur de thèse :** | **M. Momar Talla GUEYE** | **Maître de Recherches** | **ITA** |

## DEDICACES

*Au nom d'ALLAH le Tout Miséricordieux, le Très Miséricordieux*

*Je rends grâce au Tout Puissant qui m'a permis de mener à terme ce travail*

*Je dédie ce travail :*

*A ma très chère mère Marie Hélène Diédhiou*
*Quoi que je dise ou que je fasse, je ne saurai point te remercier comme il se doit. Ton affection me couvre, ta bienveillance me guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles.*

*A mon très cher père Gniamo*
*Tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager. Que ce travail traduit ma gratitude et mon affection.*

*A mes très chers frères Mouhamed et Toumany et ma très chère sœur Aïcha*
*Puisse Dieu vous donne santé, bonheur, courage et surtout réussite. J'espère que malgré le temps que m'a pris la préparation de cette thèse, j'ai su vous donner l'attention que vous méritez. Que ce travail vous serve d'exemple.*

*A ma tante Eugénie Diédhiou*

*A mes oncles et tantes, cousins et cousines*
*Merci pour leurs amours et leurs encouragements*

*A mon cher ami : Alioune Ndiaye*
*Pour son aide et support dans les moments difficiles*

*A mes professeurs*

**REMERCIEMENTS**

Je remercie le Tout Puissant de m'avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer cette thèse.

Au terme de ce travail de recherche, réalisé au niveau des stations de l'ISRA/CRZ de Kolda, de l'ISRA/CRA de Tambacounda et des AMEX de la SODEFITEX, je remercie toutes celles et ceux qui ont contribué de près ou de loin au bon déroulement de cette thèse.

Mes remerciements à l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD), l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA), l'école Doctorale Sciences de la Vie, de la Santé et de l'Environnement (ED-EV) et le Centre International en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD).

Je remercie grandement mon directeur de thèse, Dr. Momar Talla Guèye, Directeur de la Recherche et du Développement de l'ITA, de mavoir accordé l'honneur de diriger ce travail, pour son soutien sans faille et pour l'intérêt qu'il a continuellement porté à cette étude. Ses conseils, ses encouragements et sa disponibilité m'ont été d'un grand intérêt.

Je tiens à remercier mon superviseur, Dr. Djibril BADIANE, Directeur du Centre de Recherches Agricoles de Tambacounda et Responsable du service entomologique. Merci de m'avoir accueilli dans votre service, de m'avoir donné l'occasion extraordinaire de réaliser un travail de terrain. Votre exigence m'a grandement stimulée. J'associe à ces remerciements le Dr. Ndèye Hélène Diallo et le Dr. Fatou Bintou Hassedine Diouf pour leurs conseils. Mes remerciements vont aussi à l'endroit de l'équipe du CRA Tamba : Ousmane Badji, Sophie Ba, Modou Ngom, Moussa Kandé, Latyr Diouf, Bacary Sagna, Michel Gomis, Moustapha Ndiaye, Momar Bèye, Birame Diouf, Maïmouna, Abdou Thiam et Amadou Dia. Merci également à l'equipe du CRZ de Kolda.

J'exprime ma gratitude Au Pr. Ousmane Faye, pour avoir accepté de présider ce jury. Pour sa disponibilité, son engagement et son avis d'expert, qu'il trouve ici ma sincère reconnaissance et l'expression de mon profond respect.

Je remercie le Dr. Pierre Silvie (CIRAD/AIDA), qui m'a accompagné tout au long de cette expérience professionnelle et qui m'a acceuilli pendant 2 mois à Montpellier pour l'analyse de mes échantillons. Votre disponibilité et votre gentillesse ont fait de ce séjour un moment très profitable. Qu'il soit aussi remercié pour le temps qu'il a consacré à ma recherche ainsi que pour les nombreux encouragements qu'il m'a prodigués.

Je remercie également Dr. Thierry Brévault qui a su inspirer le titre de cette thèse et qui m'a permis de réaliser une partie de mes travaux au laboratoire BIOPASS.

Il m'est impossible d'oublier le Dr. Diariétou Sambakhé et le Dr. Romain Loison pour leur aide précieuse pour l'analyse de mes données.

Je remercie les agents de la SODEFITEX, particulièrement ceux de la cellule RD, Abdou Traoré et Seydou Kane pour leur collaboration et leur disponibilté. J'aimerai exprimer ma gratitude à tous les observateurs des AMEX, trop nombreux pour les citer, qui ont participé activement à la collecte de mes données. J'associe à ces remerciements Mor Thiam pour son aide précieuse lors des enquêtes de terrain au niveau des producteurs.

J'adresse tous mes remerciements au Dr. Saliou Ndiaye, Professeur Titulaire à l'ENSA et à l'Université de Thiès, au Dr. Papa Ibnou Ndiaye, Professeur Assimilé à l'UCAD ainsi qu'au Dr. Saliou Fall, Directeur de Recherche à l'ISRA, de l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant d'être rapporteurs de cette thèse.

Je tiens à remercier le Pr. Karamoko Diarra et le Dr. Djibril Badiane qui ont bien voulu être examinateurs.

Merci à mon oncle El. Hadj Coly et ma tante Ndèye Binta Goudiaby pour leur acceuil durant tout au long de ces années passées à Kolda.

Je remercie toutes les personnes avec qui j'ai partagé mes études et notamment ces années de thèse, mes amis dont le soutien indefectible m'a permis de continuer : Ndèye marie Ngom, Makhourédia Ndiaye (Bouda), Safiétou Fall, Ndèye Fatou Thiaré, Thiané Diop, Mame Fatou Mbaye, Mariétou Camara, Idrissa Seck, Ndèye Déthié keïta.

Enfin une pensée particulière est réservée à ma famille qui ne m'a pas vue souvent depuis le début de cette thèse. Je tiens à vous témoigner ma reconnaissance et mon amour pour votre soutien et vos encouragements.

J'en oublie certainement encore et je m'en excuse. Encore un grand merci à tous pour m'avoir conduit à ce jour mémorable.

## TABLE DES MATIERES

LISTE DES ACRONYMES, ABREVIATIONS ET SIGLES ..... ii
LISTE DES FIGURES ..... iii
LISTE DES TABLEAUX ..... v
LISTE DES ANNEXES ..... vii
INTRODUCTION GENERALE ..... 1
CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE ..... 5
I.1. Présentation de la plante hôte *Gossypium hirsutum* L. ..... 5
I.1.1. Origine, répartition géographique et position systématique ..... 5
I.1.2. Description du cotonnier ..... 5
I.1.3. Utilisation et importance du cotonnier ..... 6
I.1.4. Les contraintes naturelles du cotonnier : ravageurs, maladies et adventices ..... 6
I.1.5. Méthodes de lutte ..... 8
I.1.6. Faune auxiliaire ..... 8
I.2. Présentation du ravageur *Helicoverpa armigera* (Hübner, 1808) (*Lepidoptera*, *Noctuidae*) ..... 10
I.2.1. Position systématique et répartition géographique ..... 10
I.2.2. Description de l'espèce ..... 10
I.2.3. Biologie de *Helicoverpa armigera* (Cycle de *H. armigera*) ..... 11
I.2.4. Plantes hôtes-dégâts et pertes ..... 11
I.2.5. Ennemis naturels de *Helicoverpa armigera* ..... 12
I.2.6. Moyens de lutte ..... 12
I.3. Présentation des plantes utilisées ..... 14
I.3.1. Le neem *Azadirachta indica* A. Juss. (Meliaceae) ..... 14
I.3.2. *Hyptis suaveolens* (L.) Poit (Lamiacées) ..... 15
I.3.3. *Anacardium occidentale* Linn. (Anacardiaceae) ..... 16
I.4. Production cotonnière au Sénégal ..... 17
I.4.1. Historique de la production cotonnière au Sénégal ..... 18
I.4.2. Bassin cotonnier du Sénégal ..... 19
I.4.3. Coton conventionnel ..... 19
I.4.4. Coton biologique au Sénégal ..... 23
I.4.5. Le coton équitable et bio-équitable du Sénégal ..... 27
CHAPITRE II : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE ..... 28
CHAPITRE III : PERCEPTION DES PRODUCTEURS DE COTON BIOLOGIQUE SUR L'UTILISATION DES EXTRAITS DE PLANTES DANS LA LUTTE CONTRE LES INSECTES RAVAGEURS DU COTONNIER ..... 31
III.1. Introduction ..... 31
III.2. Méthodologie ..... 31
III.2.1. Localisation et réalisation de l'enquête ..... 31

III.2.2. Analyse des données ..... 33
III.3. Résultats ..... 33
III.3.1. Caractéristiques socio–démographiques des producteurs de coton biologique ..... 33
III.3.2. Place du coton biologique dans les exploitations des personnes enquêtées ..... 35
III.3.3. Perception des producteurs de coton bio sur l'utilisation des pesticides chimiques ..... 37
III.3.4. Espèces végétales utilisées, techniques de préparation des extraits de plantes et résultats observés par les producteurs de coton bio ..... 38
III.4. Discussion ..... 42
III.5. Conclusion ..... 45
CHAPITRE IV : EVOLUTION DES POPULATIONS DE CHENILLES DE *HELICOVERPA ARMIGERA* AU NIVEAU DU BASSIN COTONNIER DU SENEGAL DE 2015 A 2017 ..... 46
IV.1. Introduction ..... 46
IV.2. Méthodologie ..... 46
IV.3. Résultats ..... 47
IV.3.1. Dynamique des populations de chenilles de *Helicoverpa armigera* à Koussanar (zone sèche) ..... 47
IV.3.2. Dynamique des populations de chenilles de *Helicoverpa armigera* à Vélingara (zone médiane) ..... 48
IV.3.3. Dynamique des populations de chenilles de *Helicoverpa armigera* à Syllacounda (zone humide) ..... 49
IV.4. Discussion ..... 50
IV.5. Conclusion ..... 51
CHAPITRE V : EVALUATION DE L'EFFICACITE BIOLOGIQUE D'EXTRAITS DE PLANTES SUR *HELICOVERPA ARMIGERA* ..... 52
V.1. Efficacité des extraits aqueux de *Azadirachta indica* (neem), *Hyptis suaveolens* et *Anacardium occidentale* sur *Helicoverpa armigera* ..... 52
V.1.1. Objectif ..... 52
V.1.2. Matériel et méthodes ..... 52
V.1.3. Résultats ..... 59
V.1.4. Discussion ..... 74
V.1.5. Conclusion ..... 78
V.2. Efficacité des extraits hydroéthanoliques de *Azadirachta indica* (neem), *Hyptis suaveolens* et *Anacardium occidentale* sur *Helicoverpa armigera* ..... 78
V.2.1. Objectif ..... 78
V.2.2. Matériel et méthodes ..... 78
V.2.3. Résultats ..... 83
V.2.4. Discussion ..... 89
V.2.5. Conclusion ..... 91
CHAPITRE VI : IMPACT DES EXTRAITS DE PLANTES SUR LA FAUNE AUXILIAIRE ..... 92
VI.1. Introduction ..... 92

VI.2. Méthodologie : dispositif expérimental et échantillonnage ..... 92
VI.3. Résultats ..... 93
VI.3.1. Effet des extraits aqueux de feuilles neem, *H. suaveolens* et *A. occidentale* à concentration 17% et 29% sur la faune auxiliaire ..... 93
VI.3.2. Effet des extraits hydroéthanoliques de feuilles de neem, *H suaveolens* et *A. occidentale* sur la faune auxiliaire ..... 96
VI.4. Discussion ..... 98
VI.5. Conclusion ..... 99
CHAPITRE VII : CARACTERISATION CHIMIQUE DE L'HUILE ESSENTIELLE DE HYPTIS SUAVEOLENS ..... 100
VII.1. Introduction ..... 100
VII.2. Méthodologie ..... 100
VII.2.1. Extraction de l'huile essentielle de *Hyptis suaveolens* ..... 100
VII.2.2. Analyse de l'huile essentielle de *Hyptis suaveolens* par chromatographie en phase gazeuse (CPG) et couplage avec spectrométrie de masse (CPG/SM) ..... 101
VII.3. Résultats ..... 102
VII.4. Discussion ..... 105
VII.5. Conclusion ..... 106
DISCUSSION GENERALE ..... 107
Perception des producteurs de coton biologique sur l'utilisation des extraits de plantes dans la lutte contre les insectes ravageurs du cotonnier ..... 108
Evolution spatio-temporelle de *Helicoverpa armigera* ..... 109
*Azadirachta indica* (neem), *Hyptis suaveolens* et *Anacardium occidentale* dans la gestion intégrée des ravageurs ..... 110
Impact des extraits de plantes sur la faune auxiliaire ..... 113
L'huile essentielle de *Hyptis suaveolens* dans la lutte contre *Helicoverpa armigera* ..... 114
CONCLUSION GENERALE ..... 115
RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES ..... 117
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE ..... 119
Résumé ..... 147
Abstract ..... 147

## LISTE DES ACRONYMES, ABREVIATIONS ET SIGLES

| | |
|---|---|
| AFD | Agence Française de Dévelopement |
| AFSA | Alliance for Foos Sovereignty in Africa |
| APROCA | Association des Producteurs de Coton Africain |
| CABI | Centre for Agricultural Bioscience International |
| CFDT | Compagnie Française pour le Développement des fibres Textiles |
| CIRAD | Centre de Copération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement |
| CRA | Centre de Recherches Agricoles (ISRA) |
| CRZ | Centre de Recherches Zootechniques (ISRA) |
| CSP | Comité Sahélien des Pesticides |
| CTB | Trade for Development Centre |
| DAGRIS | Développement des Agro-Industries du Sud |
| ENDA PRONAT | Envrionnement Développement Action pour la Protection Naturelle des Terroirs |
| FAO | Food and Agriculture organisation |
| FFB | Fibre Food Beauty |
| FLO | Fairtrade Labelling Organizations |
| FNPC | Fédération Nationale des Producteurs de Coton du Sénégal |
| FYNW | Fédération Yakaar Niani Wulli |
| GTZ | Agence de Coopération Internationale Allemande pour le Développement |
| ICAC | International Cotton Advisory Committee |
| ISRA | Institut Sénégalais de Recherches Agricoles |
| MHF | Max Havelaar France |
| OBEPAB | Organisation Béninoise pour la Promotion de l'Agriculture Biologique |
| OCDE/OECD | Organisation de Coopération et de Développement Economiques |
| OEPP/EPPO | Organisation Européenne et Méditerranéenne pour la Protection des Plantes |
| PAN Africa | Pesticide Action Network Africa |
| PR-PICA | Programme régional de Protection Intégrée du Cotonnier en Afrique |
| SODEFITEX | Société de Développement et des Fibres Textiles |
| UEMOA | Union Economique et Monétaire Ouest-africaine |

## LISTE DES FIGURES

Figure 1. Cotonnier : a) feuilles ; b) fleur ; c) capsule verte ; d) capsule mûre / fibre ..... 6
Figure 2. Quelques ennemis naturels (faune utile) des ravageurs du cotonnier ..... 9
Figure 3. Chenilles de Helicoverpa armigera ..... 10
Figure 4. Dégâts de Helicoverpa armigera : a) sur fleur de cotonnier ; b)-c) sur bouton floral; d)-e) sur capsule de cotonnier ..... 12
Figure 5. L'arbre du neem (A. indica) avec ses feuilles et ses fruits ..... 15
Figure 6. Hyptis suaveolens ..... 16
Figure 7. L'anacardier (A. occidentale) avec ses feuilles, fleurs et fruits ..... 17
Figure 8. Le bassin cotonnier du Sénégal ..... 29
Figure 9. Bassin de production du coton au Sénégal ; localisation des centres d'expérimentions ..... 30
Figure 10. Zone de réalisation des enquêtes (Koungheul) ..... 32
Figure 11. Répartition des producteurs de coton suivant leur principale culture ..... 35
Figure 12. Superficies emblavées par les producteurs dans la culture du coton biologique ..... 36
Figure 13. Fréquence des quantités de production du coton biologique ..... 36
Figure 14. Pourcentage de citation des déprédateurs ou groupes de ravageurs du coton ..... 37
Figure 15. Pourcentage de citation des espèces de plantes utilisées par les producteurs dans la lutte contre les insectes ravageurs du cotonnier ..... 39
Figure 16. Barrique utilisé par les producteurs pour la préparation des extraits botaniques ..... 42
Figure 17. Producteurs avec pulvérisateur de type Matabi ..... 42
Figure 18. Variations saisonnières du niveau d'infestation des chenilles de Helicoverpa armigera de 2015 à 2017 à Koussanar (zone sèche) sur des cotonniers non traités ..... 48
Figure 19. Variations saisonnières du niveau d'infestation des chenilles de Helicoverpa armigera de 2015 à 2017 à Vélingara (zone médiane) sur des cotonniers non traités ..... 49
Figure 20. Variations saisonnières du niveau d'infestation des chenilles de Helicoverpa armigera de 2015 à 2017 à Syllacounda (zone humide) sur des cotonniers non traités ..... 50
Figure 21. Dispositif expérimental mis en place dans les 3 sites ..... 54
Figure 22. Schéma de préparation des extraits aqueux de feuilles ..... 56
Figure 23. Schéma de relevés de l'entomofaune dans une parcelle élémentaire ..... 57
Figure 24: Schéma de l'analyse sanitaire des capsules vertes (ASCV) dans une parcelle élémentaire . 58
Figure 25. Schéma de l'analyse sanitaire des capsules mûres (ASCM) dans une parcelle élémentaire 58
Figure 26**.** Evolution de la population larvaire de Helicoverpa armigera en fonction des dates d'observation à Vélingara durant les campagnes 2015 et 2016. JAL = Jour Après Levée ; JAT = Jour Après Traitement ; T1 = traitement 1 ; T2 = traitement 2 ; T3 = traitement 3 ; T4 = traitement 4 ; T5 = traitement 5. T**n -** 1 = 1 jour avant Traitement **n** ; T**n** + 7 = Traitement **n** + 7 jours ; T**n** + 13 = Traitement **n** + 13 jours. ..... 60

Figure 27**.** Evolution de la population larvaire de Helicoverpa armigera en fonction des dates d'observation à Syllacounda durant les campagnes 2015 et 2016. JAL = Jour Après Levée ; JAT = Jour Après Traitement ; T1 = traitement 1 ; T2 = traitement 2 ; T3 = traitement 3 ; T4 = traitement 4 ; T5 = traitement 5. T**n -** 1 = 1 jour avant Traitement **n** ; T**n** + 7 = Traitement **n** + 7 jours ; T**n** + 13 = Traitement **n** + 13 jours. ..... 64
Figure 28**.** Evolution de la population larvaire de Helicoverpa armigera en fonction des dates d'observation à Dialacoto durant les campagnes 2015 et 2016. JAL = Jour Après Levée ; JAT = Jour Après Traitement ; T1 = traitement 1 ; T2 = traitement 2 ; T3 = traitement 3 ; T4 = traitement 4 ; T5 = traitement 5. T**n -** 1 = 1 jour avant Traitement **n** ; T**n** + 7 = Traitement **n** + 7 jours ; T**n** + 13 = Traitement **n** + 13 jours. ..... 66
Figure 29. Schéma de préparation des extraits hydroéthanoliques et aqueux de feuilles..... 79
Figure 30. Séchage des feuilles de cotonniers découpées après trempage ..... 80
Figure 31. Dispositif expérimental adopté pour les bioessais ..... 80
Figure 32. Dispositif expérimental de l'essai en station à Vélingara ..... 82
Figure 33**.** Taux moyens de mortalité larvaire pour chaque traitement. Pour une date donnée (JAT), les barres surmontées d'une même lettre ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5% selon le test de Tukey. ..... 84
Figure 34**.** Fluctuation temporelle des infestations larvaires de Helicoverpa armigera sur plants en fonction des différents traitements en station**.** JAL = Jour Après Levée ; JAT = Jour Après Traitement ; T1 = traitement 1 ; T2 = traitement 2 ; T3 = traitement 3 ; T4 = traitement 4 ; T5 = traitement 5. T**n -** 1 = 1 jour avant Traitement **n** ; T**n** + 7 = Traitement **n** + 7 jours ; T**n** + 13 = Traitement **n** + 13 jours... 85
Figure 35. Niveaux moyens d'individus de la faune auxiliaire à Vélingara, Syllacounda et Dialacoto sur les parcelles non traitées..... 94
Figure 36. Niveaux moyens de la faune auxiliaire recensée dans les parcelles non traitées en 2018 à Vélingara ..... 97
Figure 37. Dispositif d'extraction de l'huile essentielle de Hyptis suaveolens ..... 101
Figure 38. Chromatographe en phase gazeuse ..... 102
Figure 39. Chromatogramme (GC/MS) de l'huile essentielle de Hyptis suaveolens..... 103

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Evolution statistique du coton au Sénégal de 2013 à 2018 (SODEFITEX) ..... 18
Tableau 2. Itinéraire technique vulgarisée dans le bassin cotonnier du Sénégal (SODEFITEX) ..... 20
Tableau 3. Itinéraire technique de la culture du coton biologique au sénégal (SODEFITEX) ..... 26
Tableau 4. Répartition des producteurs enquêtés dans le département de koungheul..... 33
Tableau 5. Répartition des producteurs de coton biologique selon l'âge et le genre ..... 34
Tableau 6. Répartition des producteurs de coton biologique suivant le genre et le niveau d'instruction. ..... 34
Tableau 7. Fréquence de distribution de l'expérience en culture de coton biologique ..... 35
Tableau 8. Répartition des producteurs suivant les raisons motivant leur adoption de la culture du coton bio..... 38
Tableau 9. Plantes et modes de préparations des extraits chez les producteurs de coton bio..... 40
Tableau 10. Liste du matériel physique et leurs utilisations..... 52
Tableau 11. Caractéristiques de la formulation utilisée (d'après British crop protection council, 2000-2001 ; Bayer CropScience 2013 ; SPIA, 2014 ; CSP, 2017)..... 53
Tableau 12. Objets en comparaison..... 55
Tableau 13. Effet des différentes concentrations (17% et 29%) d'extraits de plantes sur le niveau moyen des populations de chenilles de Helicoverpa armigera en fonction des dates de forte infestation et de traitement à Vélingara. ..... 62
Tableau 14. Effet des différentes concentrations (17% et 29%) d'extraits de plantes sur le niveau moyen des populations de chenilles de Helicoverpa armigera en fonction des dates de forte infestationvet de traitement à Syllacounda. ..... 65
Tableau 15. Effet des différentes concentrations (17% et 29%) d'extraits de plantes sur le niveau moyen des populations de chenilles de Helicoverpa armigera en fonction des dates de forte infestation et de traitement à Dialacoto ..... 67
Tableau 16. Taux moyens de capsules vertes attaquées par les chenilles de Helicoverpa armigera à Vélingara. ..... 69
Tableau 17. Taux moyens de capsules vertes attaquées par les chenilles de Helicoverpa armigera à Syllacounda. ..... 70
Tableau 18. Taux moyens de capsules vertes attaquées par les chenilles de Helicoverpa armigera à Dialacoto. ..... 71
Tableau 19. Taux moyens de capsules mûres saines pour chaque site..... 73
Tableau 20. Caractéristiques de différentes insecticides utilisés (British crop protection council, 2000-2001 ; Bayer CropScience 2013 ; SPIA, 2014 ; CSP, 2017)..... 81
Tableau 21. Objets en comparaison..... 82
Tableau 22. Effet des extraits hydroéthanoliques et aqueux sur le niveau moyen des populations de chenilles de Helicoverpa armigera en fonction des dates de forte infestation et de traitement..... 86

Tableau 23. Taux moyens des capsules vertes attaquées par les chenilles de Helicoverpa armigera pour chaque traitement. ..... 88
Tableau 24. Taux moyens des capsules mûres saines pour chaque traitement. ..... 89
Tableau 25. Effet des extraits aqueux de feuilles de neem, de Hyptis suaveolens et de Anacardium occidentale sur la faune auxiliaire à Vélingara..... 95
Tableau 26. Effet des extraits aqueux de feuilles de neem, de H. suaveolens et de Anacardium occidentale sur la faune auxiliaire à Dialacoto..... 96
Tableau 27. Effet des extraits hydroéthanoliques de feuilles de neem, de H. suaveolens et de Anacardium occidentale sur la faune auxiliaire ..... 97
Tableau 28. Composition chimique de l'huile essentielle de feuilles d'Hyptis suaveolens ..... 104

**LISTE DES ANNEXES**

Annexe 1 : Itinéraire technique adopté pour la réalisation des 3 essais en station

Annexe 2 : Fiche d'enquête

Annexe 3 : Insecticides recommandés dans la protection du cotonnier au Sénégal

Annexe 4 : Article pubié dans IJBCS (Résumé)

Annexe 5 : Communication orale lors des doctoriales ED-SEV du 03 au 04 juillet 2019

Annexe 6 : Communication à l'occasion de la Conférence Intensification Durable CID, 8 - 10 octobre 2019

## INTRODUCTION GENERALE

Le secteur mondial du coton englobe plus de 100 millions d'exploitations familiales réparties sur 75 pays, générant environ 51,4 milliards de dollars EU en produit de base (FAO, 2015). Le coton est essentiellement cultivé pour sa fibre, qui sert de matière première à l'industrie textile.

Le coton a joué un rôle important dans le développement économique de nombreux pays d'Afrique de l'Ouest, et il reste la principale source de revenu de plus de 15 millions de personnes. Il est cultivé depuis plus d'un siècle en Afrique de l'Ouest et la région compte une industrie textile traditionnelle non négligeable depuis plus de 50 ans (OCDE, 2005). Selon l'UEMOA (2014), la filière cotonnière occupe près de 70% de la population active dans la sous-région. Il apporte des revenus aux agriculteurs et contribue ainsi à la sécurité alimentaire et à la lutte contre la pauvreté dans la région. Culture d'exportation, le coton est produit essentiellement par de petites exploitations familiales.

Dans le contexte ouest africain francophone, le Sénégal est un petit producteur de coton du point de vue des superficies emblavées et de la productivité. Cependant, bien qu'elle ait une faible importance relative sur le plan national, la culture du coton constitue la principale ressource économique des zones de savane. La culture cotonnière est l'une des plus importantes sources de revenu des populations du Sénégal oriental et de la Haute Casamance caractérisées par la pauvreté (Dieng, 2003). Intégrée dans les systèmes de production traditionnels, elle contribue à leur modernisation et à la réalisation d'investissements productifs - achat de bovins et de matériel agricole, diffusion de fumure organique - dont profitent les cultures venant après le coton (généralement des céréales) (CTB, 2011).

Comme culture de rente, le coton occupait la deuxième place après l'arachide. A cause d'une baisse progressive des rendements, le coton occupe désormais une place modeste dans les systèmes de production. En effet, au Sénégal la production subit une régression depuis plusieurs années passant d'environ 25000 T en 2011 à 15121 T en 2018. Le rendement évolue ces sept dernières années en dent de scie mais en dessous de 1000 Kg/ha et n'a dépassé qu'une seule fois le niveau en 2014 avec 1059 Kg/ha (PR-PICA, 2019a). Cette chute pourrait s'expliquer par l'épuisement des sols, une recrudescence du parasitisme, une mauvaise application des itinéraires techniques de production et le coût élevé de la protection phytosanitaire.

Le coton est une culture fortement attaquée par un complexe de bioagresseurs important, varié et très actif. Les insectes ravageurs représentent une contrainte majeure à l'augmentation du rendement en culture cotonnière en Afrique de l'Ouest. Au Sénégal, le cotonnier est attaqué du

semis à la récolte par trois groupes de bioagresseurs : les chenilles carpophages (*Helicoverpa armigera* Hübner, *Diparopsis watersi* Rothshild, *Earias biplaga* Walker et *Earias insulana* Boisduval), les piqueurs suceurs (*Spodoptera littoralis* Boisduval, *Haritalodes derogata* Fabricius, *Anomis flava* Fabricius) et les chenilles phyllophages (*Bemisia tabaci* Gennadius, *Aphis gossypii* Glover, *Jacobiella fascialis* Jacobi et *Dysdercus* sp.) (Badiane et al., 2015). Les pertes de récolte causées par ces arthropodes déprédateurs peuvent aller jusqu'à 55% en l'absence de protection phytosanitaire (Badiane et al., 2018). En zone cotonnière sénégalaise, la noctuelle *H. armigera* est le plus préjudiciable, affectant directement la production du cotonnier par destruction des organes fructifères. Encore appelé ver de la capsule, *H. armigera* est une espèce cosmopolite, largement répandue dans le monde entier. Il est polyphage et provoque de sérieux dégâts sur le coton.

Le contrôle de ces ravageurs repose essentiellement sur un programme de lutte chimique sur calendrier où la nature des traitements (types d'insecticides et doses) ainsi que leur fréquence sont fixées en début de campagne. Depuis les années 50, la méthode la plus courante de prévention des dommages causés par les ravageurs est l'application de pesticides. Selon l'ICAC (2005), les trois méthodes d'application de pesticides au champ sont la pulvérisation aérienne (13% du total), la pulvérisation manuelle des champs (52%) et la pulvérisation à l'aide de tracteurs (35%). L'utilisation de pesticides a permis d'augmenter les rendements, de simplifier les systèmes de culture et de renoncer à des stratégies de protection des cultures plus compliquées (Barzman et al., 2015). Toutefois, le recours aux pesticides, comme principal moyen de lutte, a montré certaines limites comme des risques pour la santé humaine, mais également un effet délétère sur les écosystèmes et l'environnement, avec une altération des services de régulation naturelle et la perte de la biodiversité (Multigner, 2005 ; Carpentier, 2010 ; Barzman et al., 2015). Au-delà des conséquences économiques (augmentation des coûts de production) et environnementales (pollution), l'usage massif et prolongé des insecticides de synthèse a également entrainé le développement de souches d'insectes résistants (Martin et al., 2000). Ainsi, l'utilisation prolongée des pyréthrinoïdes a engendré la résistance de *Helicoverpa armigera* (PRPICA, 2014). Les effets toxiques des produits chimiques de synthèse sur l'environnement ne s'avèrent donc pas compatibles avec une exploitation durable des agroécosystèmes (Deguine & Ferron, 2004).

Dans un tel contexte, il s'avère nécessaire de trouver des alternatives de lutte respectueuses de l'environnement pouvant minimiser les pertes de récoltes au niveau des champs des producteurs. Le règne végétal offre des possibilités car les plantes constituent une source de

substances naturelles qui présente un grand potentiel d'application contre les insectes et d'autres parasites des plantes et du monde animal. Les recherches récentes ont montré que les extraits végétaux présentaient plusieurs propriétés leur permettant de s'inscrire dans des stratégies alternatives visant à limiter l'emploi des pesticides organiques de synthèse dans l'agriculture (Régnault-Roger, 2011). Actuellement de nombreux travaux sont entrepris pour isoler ou identifier des substances extraites de plantes, dotées d'activité insecticide, répulsive ou antiapettante vis-à-vis des insectes (Derradji-Heffaf, 2013).

La présente étude s'inscrit dans la recherche d'alternatives à la lutte chimique par l'évaluation de l'efficacité biologique de trois extraits de plantes afin de préserver l'environnement et de contribuer à réduire les coûts liés à la protection phytosanitaire du cotonnier.

Il s'agit plus spécifiquement :

- de déterminer une situation de référence des pratiques paysannes sur l'utilisation des plantes dans la protection du coton contre les ravageurs ;
- d'évaluer l'efficacité biologique et la dose d'application des extraits de plantes contre *Helicoverpa armigera* au laboratoire et au champ sur cotonnier ;
- d'évaluer l'impact des extraits sur la faune auxiliaire du cotonnier ;
- de caractériser la composition chimique de l'huile essentielle de *Hyptis suaveolens* et d'identifier le(s) principaux composés responsables de la toxicité de l'extrait vis-à-vis du ravageur.

Pour répondre à ces questions de recherche, nous posons l'hypothèse que les extraits de Azadirachta *indica* (neem), *Hyptis suaveolens* et *Anacardium occidentale* pourrait avoir un effet insecticide, répulsif et/ou antiappétant sur la noctuelle *H. armigera*.

Ce travail de thèse comprend sept chapitres. Le premier chapitre porte sur une revue bibliographique consacrée à la présentation de la plante hôte *Gossypium hirsutum* L. et de l'insecte ravageur *Helicoverpa armigera*, à la description des trois plantes utilisées et à la situation du coton au Sénégal. Dans le deuxième chapitre, nous présentons la zone d'étude et sa spécificité. Le troisième chapitre traite la perception des producteurs de coton biologique sur l'utilisation des extraits de plantes dans la lutte contre les insectes ravageurs du cotonnier. L'évolution des populations de chenilles de *Helicoverpa armigera* au niveau du bassin cotonnier du Sénégal de 2015 à 2017 est exposée dans le quatrième chapitre. L'évaluation de l'efficacité biologique des extraits aqueux et hydroéthanoliques de plantes sur les infestations larvaires de *H. armigera* est présentée dans le cinquième chapitre. Dans le sixième chapitre,

nous traitons l'impact des extraits de plantes sur la faune auxiliaire. La caractérisation chimique de l'huile essentielle de *Hyptis suaveolens* est exposée dans le chapitre sept. La dernière partie de ce manuscrit est consacrée à la discussion générale de tous les résultats, à la conclusion générale, aux recommandations et perspectives.

# CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

## I.1. Présentation de la plante hôte *Gossypium hirsutum* L.

### I.1.1. Origine, répartition géographique et position systématique

Les cotonniers sont originaires des régions arides tropicales et subtropicales d'Asie, d'Amérique, d'Afrique et d'Australie. Le genre *Gossypium* comprend quatre espèces cultivées dont deux diploïdes (*G. herbaceum* et *G. arboreum*) et deux tétraploïdes (*G. barbadense* et *G. hirsutum*) (Wendel et al., 2009 ; Dessauw, 2016). *Gossypium hirsutum,* largement connu sous le nom de coton upland ou parfois de coton américain, contribue pour plus de 90 % à la production mondiale. Elle est de loin l'espèce la plus cultivée, notamment en Afrique ; c'est la seule espèce présente au sud du Sahara pour une production industrielle. (Martin, 1970 ; Hau et al., 1997 ; Dessauw, 2016). Le genre Gossypium fait partie de la famille des Malvaceae, de l'ordre des Malvales et de la tribu des Gossypiae (Attims, 1969 ; Anonyme[1], 2008a).

### I.1.2. Description du cotonnier

*G. hirsutum* est un petit arbrisseau cultivé le plus souvent de façon annuelle, atteignant environ 1,50 m (Levrat, 2008). Le système racinaire du cotonnier est pivotant et la racine principale joue un rôle important dans la fixation de la plante et dans son alimentation en eau et en éléments minéraux (FAO, 2014). La partie aérienne est constituée d'une tige principale monopodiale portant d'abord les deux nœuds cotylédonaires opposés sur la tige, puis des nœuds végétatifs. A côté d'un nœud fructifère se développe de bas en haut des rameaux fructifères sympodiaux. Le développement sympodial des branches fructifères leur donne un aspect légèrement en zigzag, contrairement aux branches végétatives assez droites (OECD, 2004 ; Crétenet et al., 2006 ; Crétenet et al., 2015). Les feuilles de cotonnier sont alternes, disposées sur la tige suivant une phyllotaxie d'indice 3/8. Elles sont de couleur vert clair, simples ou dentées dans les stades jeunes et possèdent 3 lobes chez la plante adulte (Attims, 1969 ; Bèye, 1985). Leur pilosité est plus ou moins importante. La fleur, de couleur blanc crème, est caractérisée par une couverture triangulaire à 3 bractées dentées (Martin, 1970 ; Demol et al., 1991). Le fruit du cotonnier (coton-graine) est une capsule contenant des boulettes blanchâtres et duveteuses. Ces boulettes sont formées par la fibre de coton et par les graines. La fibre de coton, encore appelée "soie" ou "lint", est habituellement blanchâtre, mais peut être naturellement colorée, verte ou brune. Les graines au nombre de 6 à 12 par loge sont assez volumineuses (Bèye, 1985 ; Demol et al., 1991 ; Levrat, 2008).

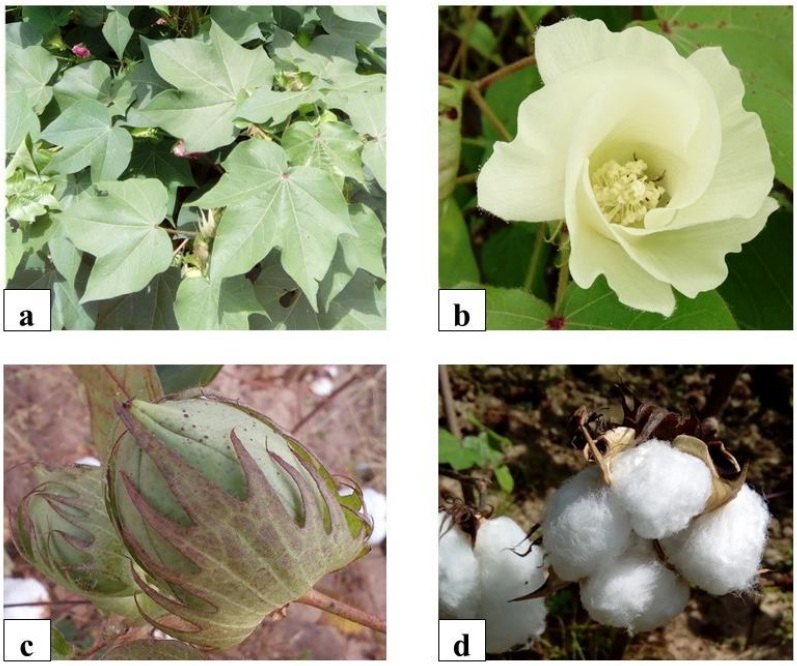


Figure 1. Cotonnier : a) feuilles ; b) fleur ; c) capsule verte ; d) capsule mûre / fibre

### I.1.3. Utilisation et importance du cotonnier

Le cotonnier produit une fibre, le coton ou *Lint,* utilisable en filature puis en tissage dans l'industrie textile. Aujourd'hui, le cotonnier est la première plante textile mondiale. En pharmacie, elle sert à la confection de l'ouate hydrophyle. Le tégument de la graine peut porter également des poils très courts (dénommés duvet ou linter) qui servent de matière première à l'industrie chimique de la cellulose (vernis, celluloïde, nitro-cellulose…). Les graines fournissent une huile alimentaire de très bonne qualité. Les tourteaux sont généralement utilisés dans l'alimentation des ruminants ou transformés en farines, concentrâts ou isolats de protéines, pour l'alimentation humaine. La protéine des graines de coton peut être également utilisée dans la fabrication de films biodégradables : emballage, plastisemis, peaux artificielles. La coque de la graine sert de combustible pour la production d'énergie électrique. Dans les pays tropicaux, le cotonnier a été et est encore souvent utilisé en médecine traditionnelle sous forme de décoction de feuilles ou de racines (Diongue 1986 ; CIRAD, 2006 ; Crétenet et al., 2006 ; Hau, 1997).

### I.1.4. Les contraintes naturelles du cotonnier : ravageurs, maladies et adventices

Outre les adventices, on dénombre en Afrique tropicale environ 480 espèces d'insectes, acariens, myriapodes et nématodes qui vivent aux dépens du cotonnier. Il est aussi exposé à des maladies dont les agents pathogènes responsables peuvent être des champignons, des bactéries, des virus ou des mycoplasmes (Diongue, 1986 ; Badiane, 1995 ; Vaissayre et Cauquil, 2000).

### I.1.4.1. Les ravageurs du cotonnier

Les insectes déprédateurs du cotonnier sont très nombreux, mais seules quelques-uns sont économiquement nuisibles (Renou et Brévault, 2016). Ils sont monophages, sténophages *(gamme* réduite de plantes hôtes) ou polyphages. Les insectes les plus redoutables sont les chenilles de la capsule, *Helicoverpa armigera* Hübner, *Diparopsis watersi* Rothschild et *Earias* sp, dites chenilles « exocarpiques », qui provoquent des chutes d'organes fructifères, s'attaquent aux capsules et organes floraux qu'ils dévorent de l'intérieur, et détériorent la fibre des capsules plus âgées. Dans les zones les plus au sud, les chenilles dites « endocarpiques », *Thaumatotibia leucotreta* (Meyrick), et *Pectinophora gossypiella* (Saunders), sont les principaux ravageurs des capsules. Le cortège d'insectes piqueurs suceurs vient immédiatement après, en termes d'importance économique. Il comprend les Homoptères et les Hétéroptères. Ces ravageurs s'attaquent aux différents organes aériens de la plante qu'ils piquent afin de ponctionner la sève pour s'en nourrir. Les Homoptères sont les plus dangereux. Parmi eux, on considère les pucerons (*Aphis gossypii* Glover), aleurodes (*Bemisia tabaci* Gennadius), jassides (*Empoasca* sp. et *Jacobiella fascialis*). Au niveau des Hétéroptères, on note les punaises (*Dysdercus fasciatus* Signoret, *D. völkeri* Schmidt et *D. superstitiosus* Fabricius) et les mirides (*Campylomma nicolasi* Puton & Reuter, *Creontiade pallidus* Rambur, etc.). Ils peuvent réduire significativement la production par affaiblissement de la vigueur des plants, abscission d'organes fructifères, transmission de maladies, ou développement d'agents responsables de pourritures détruisant le contenu des capsules, et dépôts de miellats sur la fibre. Le groupe des chenilles phyllophages (*Haritalodes derogata* Fabricius, *Spodoptera littoralis* Boisduval et *Anomis flava* Fabricius) est fréquemment observé en culture cotonnière. Les phyllophages se nourrissent préférentiellement de feuilles qu'elles rongent grâce à leur système buccal de type broyeur. L'incidence de ces ravageurs est en général faible car les infestations sont souvent très localisées (Badiane et al., 2015 ; Renou et Brévault, 2016 ; Brévault et al., 2019).

### I.1.4.2. Les principales maladies du cotonnier

Les maladies à transmission biologique du cotonnier, attribuées à des virus ou à des mycoplasmes, sont nombreuses et variées. On peut citer la bactériose due à *Xanthomonas campestris* pv. *malvacearum* et qui cause des dégâts importants sur les feuilles et les gousses (Zinsou et al., 2015). Parmi les maladies fongiques, il y'a la fusariose et la verticilliose qui sont des maladies vasculaires à grave incidence dans les pays africains (Sément, 1986). Il existe plusieurs viroses transmises par des insectes vecteurs, comme une mosaïque transmise par *Bemisia tabaci* (Aleurodidae), la maladie bleue transmise par le puceron *Aphis gossipii* (Vaissayre et Cauquil, 2000).

### I.1.4.3. Mauvaises herbes

Les mauvaises herbes ou adventices constituent une des contraintes majeures qui affectent la culture cotonnière. Les mauvaises herbes peuvent avoir un effet négatif direct par compétition avec la culture vis-à-vis des éléments nécessaires à la croissance (eau, nutriments, lumière, espace de développement). Elles causent une perte de rendement pouvant dépasser 25% en zone tropicale. Les familles les plus représentées sont : les Poaceae, les Fabaceae, les Asteraceae, les Malvaceae et les Cyperaceae **(**Aman et al., 2004 ; Boudjedjou, 2010 ; Diouf., 2019).

### I.1.5. Méthodes de lutte

La culture cotonnière est l'objet de nombreuses attaques. Cette sensibilité en a fait une culture consommatrice de près du quart des pesticides chimiques produits annuellement au niveau mondial. Après un demi-siècle de telles pratiques, la culture cotonnière est en quête de solutions alternatives, plus respectueuses de l'environnement, mais aussi socio-économiquement acceptables (Ferron, 2006). Pour se faire, la protection phytosanitaire doit s'adapter en permanence aux évolutions du complexe des ravageurs pour en proposer une gestion durable. Face à la résistance des ravageurs aux pesticides, la recherche met aujourd'hui à la disposition de la filière des connaissances sur la dynamique des populations, sur les relations entre les ravageurs et les plantes de l'écosystème, sur les barrières morphologiques ou biochimiques et sur les seuils d'intervention. Il s'agit dès lors de s'appuyer sur **i)** les itinéraires techniques qui permettent de réduire l'impact des ravageurs, **ii)** des cultivars adaptés aux conditions parasitaires locales utilisés de façon systématique pour lutter contre certaines maladies, **iii)** le respect de l'activité des auxiliaires reposant sur des modèles de décision simples et pragmatiques, **iv)** l'utilisation de pesticides biologiques et des aspects relevant de l'agroécologie, **v)** une lutte chimique raisonnée avec un programme de 5 à 6 applications d'insecticides espacées de 14 jours (Cauquil, 1990 ; Cauquil et Vaissayre, 1994 ; Michel, 2000 ; Vaissayre, 2006).

### I.1.6. Faune auxiliaire

Les ravageurs du cotonnier sont attaqués par un certain nombre d'ennemis naturels constituant la faune utile liée à la culture du coton : les prédateurs, les parasitoïdes et les entomopathogènes (Traoré, 2008).

- les **parasitoïdes** peuvent s'attaquer aux différents stades des ravageurs: œuf, larve, nymphe, adulte. Différentes espèces sont utilisées en lutte biologique et multipliées en grand nombre sur un hôte de substitution facile à élever. Il s'agit essentiellement des trichogrammes parasites d'œufs, d'Hymenoptères endoparasites nymphaux et de Braconides. En général,

les parasitoïdes sont spécifiques d'un hôte ou d'un groupe d'hôtes, ce qui les rend plus intéressants pour la lutte biologique.

- Les **prédateurs** sont représentés par des insectes ou arachnides qui chassent leurs proies pour s'alimenter directement ou pour nourrir leurs larves. Les larves de coccinelles (Coléoptères), les Syrphes (Diptères), les araignées, les fourmis, les forficules, les mantes religieuses et les chrysopes (Névroptères) se nourrissent aux dépens des pucerons, des aleurodes, des acariens et des œufs de divers insectes.
- Les **parasites** : le développement larvaire de ces insectes a lieu en partie ou en totalité à l'intérieur de l'hôte dans lequel ils ont déposé ses œufs. Les trichogrammes pondent à l'intérieur des œufs de Lépidoptères ravageurs (*Heliothis, Earias, Diparopsis, Spodoptera,* etc.). *Apanteles* sp. (Hyménoptère) pond dans les chenilles de Lépidoptères.
- Les **pathogènes** : ce sont des agents infectieux qui peuvent provoquer des maladies chez les insectes et par conséquent être bénéfiques pour l'agriculture lorsqu'ils s'attaquent à des ravageurs. Ces entomopathogènes renferment les champignons, les bactéries et les virus (Cauquil 1986 ; Miranda et al., 2013).

Figure 2. Quelques ennemis naturels (faune utile) des ravageurs du cotonnier

## I.2. Présentation du ravageur *Helicoverpa armigera* (Hübner, 1808) (*Lepidoptera, Noctuidae*)

### I.2.1. Position systématique et répartition géographique

*Helicoverpa armigera* est un Lépidoptère appartenant à la famille des Noctuidae, du genre *Helicoverpa* (OEPP/EPPO, 2003 ; Lammers et al., 2007). C'est une espèce polyphage et très cosmopolite possédant une vaste aire de répartition. Elle est présente dans toutes les zones de culture cotonnière (Cauquil, 1986 ; Lavabre, 1992). C'est l'un des principaux ravageurs en Afrique francophone et au sud du Sahara (Cauquil 1986 ; Nibouche, 1994 ; Ochou, 2012 ; Badiane et al., 2015).

### I.2.2. Description de l'espèce

Les œufs de *Helicoverpa armigera* sont subsphériques et mesurent 0,4 à 0,5 mm (Toguebaye et Couilloud, 1982). Les chenilles sont de coloration très variable et présentent deux lignes latérales claires, caractéristiques de l'espèce (Cauquil, 1986). A son dernier stade (après 5 ou 6 mues larvaires selon les conditions climatiques), la chenille d' *H. armigera* présente une rayure brisée le long de chaque côté du corps (Sharma et al., 2011) et mesure 30 à 40 mm (Cauquil, 1986). La capsule céphalique, de couleur orangée, a une largeur moyenne de 2,59 mm. Les pièces buccales sont de type broyeur (Toguebaye et Couilloud, 1982). La Chrysalide de couleur marron mesure entre 15 à 20 mm de long (Rabari et al., 2017). Les adultes de *Helicoverpa armigera* ont une envergure de 32 à 38 mm (Nibouche, 1994). Les ailes du mâle sont de couleur gris verdâtre, tandis que celles des femelles sont de couleur brun orangé avec une touffe de cheveux sur le bout de l'abdomen (Sharma et al., 2011).

Figure 3. Chenilles de *Helicoverpa armigera*

### I.2.3. Biologie de *Helicoverpa armigera* (Cycle de *H. armigera*)

Le cycle de vie (biologique) de *H. armigera* dure en moyenne un mois (30 – 35 jours) dans les conditions naturelles favorables (Menessong, 2014). Il permet 5 à 6 générations durant la campagne (Lavabre, 1992). Ce cycle peut cependant durer près de trois mois si l'individu entre en diapause (Menessong, 2014). L'infestation des cotonniers s'effectue généralement au début de la floraison des cotonniers et parfois dès la mise en place des organes fructifères. Le stade adulte dure 2 à 5 jours dans les conditions naturelles (jusqu'à 12 jours observés au laboratoire). Les femelles de papillons de *H. armigera* déposent individuellement leurs œufs, préférentiellement sur les feuilles du bouquet terminal des plants (Renou et Brévault, 2016). Chaque femelle peut pondre jusqu'à 1000 à 15000 œufs (Cadou, 1976). Les larves néonates apparaissent après 2 à 4 jours (Cauquil et Vincens, 1982). Elles se nourrissent essentiellement du limbe de feuilles, de bractées et de bourgeons terminaux (Renou et Brévault, 2016). Les chenilles plus âgées pénètrent les boutons floraux et les capsules (Caquil, 1986 ; Lavabre, 1992). Après 14 à 30 jours, elles se déplacent vers le sol où a lieu la nymphose qui dure 14 jours. Durant les périodes fraiches ou d'absences de ressources nutritives, la nymphose dure plus longtemps (2 à 3 mois) : c'est la diapause (Stoll, 2002 ; Menessong, 2014). En l'absence de diapause, de nouveaux adultes émergent des nymphes 10 à 14 jours après nymphose (Renou et Brévault, 2016).

### I.2.4. Plantes hôtes-dégâts et pertes

*Helicoverpa armigera,* est une espèce très polyphage. Parmi ses plantes hôtes d'importances économiques se trouvent le cotonnier, le lin, la luzerne, le maïs, le pois chiche, la pomme de terre, le soja, le sorgho, le tabac, la tomate, le sorgho, le haricot, le mil, le niébé, l'aubergine, le poivron, les cultures fourragères certains Fabaceae, arbres fruitiers et forestiers (OEPP/EPPO, 2003 ; Stoll, 2002 ; Miranda et *al*., 2013). En Afrique de l'Ouest, les dégâts les plus sévères sont cependant observés dans les parcelles de cotonniers et de tomate (Diongue, 1986; Kébé, 1999). A la recherche de nourriture, les chenilles se déplacent beaucoup, au besoin en changeant de plant. Ce comportement associé à une destruction d'organes fructifères souvent incomplète mais suffisante pour provoquer leur abscission lorsqu'ils sont jeunes, explique la grande nuisibilité de cette espèce pour le cotonnier. Les jeunes organes attaqués tombent après dessèchement des bractées. Des études de voracité en laboratoire ont montré qu'un individu attaquait en moyenne 24 boutons floraux et 8 capsules au cours de sa vie larvaire (Cauquil et Vincens, 1982 ; Caquil, 1986; Renou et Brévault, 2016). Cette espèce peut causer des baisses de rendements en coton-graine de plus de 50% (Menessong, 2014). Le seuil d'infestation utilisé au Sénégal  est de 3 chenilles sur 30 plants (Anonyme, 2015).

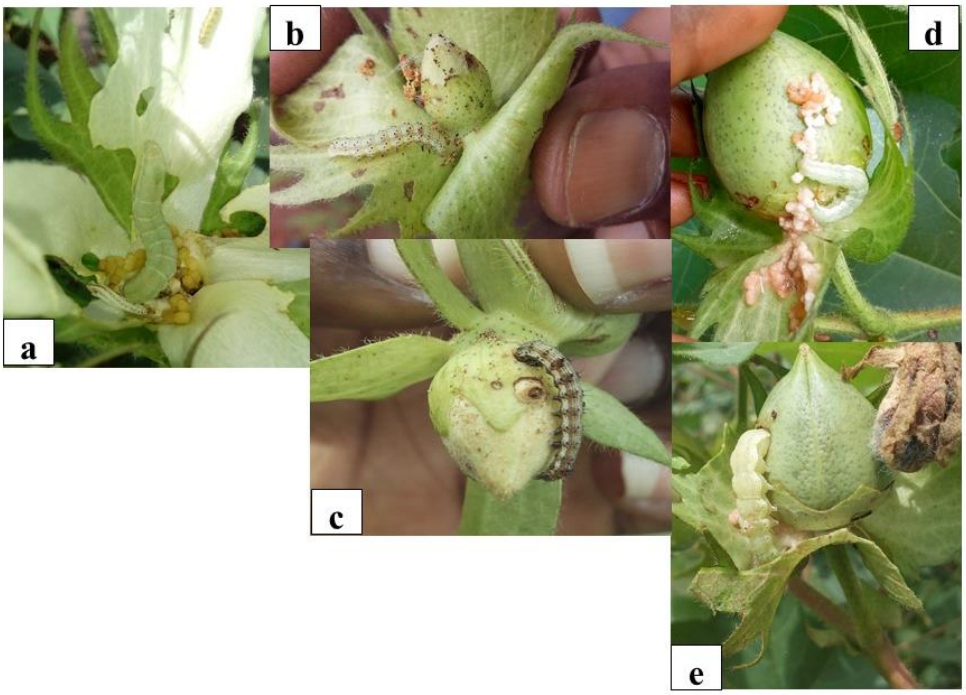


Figure 4. Dégâts de *Helicoverpa armigera* : a) sur fleur de cotonnier ; b)-c) sur bouton floral; d)-e) sur capsule de cotonnier

### I.2.5. Ennemis naturels de *Helicoverpa armigera*

Pour le contrôle des populations de *Helicoverpa armigera*, la littérature fait état de l'intérêt potentiel des parasitoïdes, des prédateurs et des agents pathogènes. En Afrique, des enquêtes ont permis de recenser 18 espèces de trichogrammes, huit espèces de Trichogrammatoidea, sept de Telenomus, une de Baryscopus et une d'Oencyrtus (Sithanantham et a1., 2001). Au Sénégal, au moins sept espèces de parasitoïdes de *H. armigera* appartenant à la famille des Braconidae (*Meteorus laphygmarum*, *Apanteles* sp., *Cotesia* sp. et *Bracon* sp), des Chalcididae (*Brachymeria marmonti* et *Euplectrus* sp.) et des Tachinidae sont rencontrées dans la zone des Niayes (Diatte et al., 2018). Les populations de *H. armigera* sont également régulées par des virus, des bactéries, des champignons et des protozoaires (agents entomopathogènes). L'action des prédateurs n'est pratiquement jamais quantifiée car l'observation de leur activité est difficile dans les conditions naturelles. Nous pouvons citer les fourmis *Pheidole* spp., *Iridomyrmex* spp., *Myrmicaria* spp. et *Camponotus* spp. (Van Denberg et al., 1997 ; Mansfield, 2003), l'araignée cursive *Cheiracanthium pelasgicum* et le chrysope *Chrysoperla carnea* (Pérez-Guerrero, 2014).

### I.2.6. Moyens de lutte

#### I.2.6.1. Lutte préventive

*H. armigera*, comme beaucoup d'autres insectes ravageurs, a la capacité de survivre aux conditions météorologiques favorables et défavorables et d'être nuisibles. Il est alors

recommandé aux exploitants agricoles de labourer en profondeur le sol où sont enterrées les nymphes estivales, afin de les tuer, ce qui pourrait entraîner une moindre accumulation de la population et empêcher les poussées épidémiques dans des conditions cycloniques. Sur les terres non labourées, la survie accrue des pupes peut permettre la constitution de populations précoces (Jadhav et al., 2013).

#### I.2.6.2. Lutte chimique

Au début des années 1980, les pyréthrinoïdes ont été utilisés en culture cotonnière en Afrique et prouvèrent leur efficacité sur les chenilles carpophages, même à de très faibles doses (Renou et Brévault, 2016). L'association des pyréthrinoïdes avec certains organophosphorés a permis d'obtenir un effet de potentialisation autorisant une réduction des doses d'emploi des pyréthrinoïdes (Vaissayre, 1983). Cependant, l'apparition de résistance aux pyréthrinoïdes vis-à-vis des populations de *H. armigera* a conduit à leur associer d'autres molécules insecticides : organochlorés (endosulfan uniquement), carbamates (notamment le thiodicarb utilisé comme ovicide) et régulateurs de croissance. Pour mieux réduire leurs périodes d'utilisation, des alternatives aux pyréthrinoïdes sont également employés seuls à des niveaux précis du calendrier du programme de protection vulgarisé : profénofos, emamectine benzoate, spinosad, spirotetramate-flubendiamide, etc. (Badiane et al., 2015 ; Renou et Brévault, 2016).

#### I.2.6.3. Lutte biologique

Avec la résistance croissante de *H. armigera* à la large gamme d'insecticides chimiques, la nécessité de concevoir de futurs systèmes de stratégies de gestion des nuisibles pour contrôler cette noctuelle deviennent plus apparentes. Les recherches d'alternatives concernent l'utilisation d'ennemis naturels, de biopesticides (d'origine végétale ou microbienne), l'utilisation de substances volatiles pour la surveillance et le piégeage, l'utilisation de cultures-pièges et de variétés de cultures résistantes (Cunningham et al., 1999). En Afrique, les biopesticides d'origine microbienne, végétale ou animale ne sont utilisés qu'en conduite de culture biologique du coton et concernent en conséquence de faibles superficies. Des produits à base de souches de la bactérie *Bacillus thuringiensis* sont appliqués au champ contre *H. armigera*. Des formulations à base d'autres bactéries comme *Burkholderia* spp. ou de virus tels que *Nucleopolyhedrovirus* sont actuellement étudiés pour leurs effets contre les chenilles de *H. armigera* (Renou et Brévault, 2016; Badiane et al., 2019). Parmi les plantes les plus utilisées contre la chenille, figurent le neem (*Azadirachta indica* A. Juss.). Des huiles essentielles et des extraits d'autres plantes comme *Ocimum gratissimum*, *Carica papaya*, *Hyptis suaveolens*, *lippia multiflora*, *Cymbopogon citratus*, *Eucalyptus globulus* sont utilisées contre les ravageurs

du cotonnier (Gnago et al., 2010 ; Gbedomon et al., 2012 ; Mondedji et al., 2014 ; Kobenan et al., 2018 ; Ochou et al., 2018a).

## I.3. Présentation des plantes utilisées

### I.3.1. Le neem *Azadirachta indica* A. Juss. (Meliaceae)

Le Neem *Azadirachta indica* A. Juss., de la famille des Meliaceae, est un arbre de taille petite à moyenne qui mesure 15 à 30 m de hauteur avec une grande couronne ronde allant de 10 à 20 m de diamètre. *Azadirachta indica* est un arbre à croissance rapide et très résistant à la sécheresse. La plante, indigène en Inde, est très répandue dans l'Asie du Sud et du Sud-Est. En Afrique, le neem est abondant au Sénégal, au Burkina Faso, au Cameroun, en Angola, en Algérie, au Bénin, au Mauritanie, au Togo, dans la ceinture tropicale de la Somalie, dans l'Est et l'Ouest du Nigeria, etc., où il a été introduit par des colons indiens. Le neem est répandu dans plusieurs parties du monde, dans les régions tropicales et subtropicales (Govindakari, 1992 ; Ghedira et Goetz, 2014). En Afrique sahélienne, le neem est apprécié tant pour son bois et pour son huile que pour ses vertus médicinales. *Azadirachta indica* a été largement utilisé dans l'Ayurveda, l'Unani et la médecine homéopathique. Toutes les parties de l'arbre de neem (feuilles, fleurs, graines, fruits, racines et écorce) ont été traditionnellement utilisées pour le traitement des maladies humaines aiguës et chroniques, de l'inflammation, des infections, de la fièvre, des maladies de la peau et des troubles dentaires. Elles ont été utilisées comme insecticide, antimicrobien, larvicide, antipaludéen, antibactérien, antiviral et spermicide (Subapriya et Nagini, 2005 ; Singh et al., 2012 ; Gupta et al., 2017). L'azadirachtine est le principal limonoïde responsable de l'efficacité des extraits de neem (Regnault-Roger et al., 2008). Plusieurs études ont montré que toutes les parties du Neem (*Azadirachta indica* A. Juss) montrent une efficacité à large spectre contre les insectes nuisibles y compris des activités insecticides, anti-nourrissantes ou insectifuges (Regnault-Roger et al., 2008).

Vue d'ensemble d'*Azadirachta indica* A. Juss

Face dorsale et ventrale des feuilles

Fruits du neem avant maturité

Figure 5. L'arbre du neem (*A. indica*) avec ses feuilles et ses fruits

### I.3.2. *Hyptis suaveolens* (L.) Poit (Lamiacées)

*Hyptis suaveolens* (L.) Poit. ou gros Baume, membre de la famille des Lamiaceae ou Labiatae est une plante herbacée fortement aromatique qui mesure jusqu'à 2 m de hauteur (Barbosa et al., 2013 ; Sharma et al., 2013). C'est une espèce agressive, actuellement considérée comme une adventice de distribution mondiale (Barbosa et al., 2013). *Hyptis suaveolens* est originaire de l'Amérique tropicale (Kerharo et Ada, 1974). Au Sénégal, elle est très commune surtout dans la région soudanienne où elle envahit parfois les bas-côtés des routes, le pourtour des villages et les cultures pendant les premières années de jachères (Kerharo et Ada, 1974). Du point de vue chimique, *H. suaveolens* a fait l'objet de nombreux travaux. Une substance phytotoxique appelée acide suaveolique (14α-hydroxy-13β-abiet-8-en-18-oic) a été isolée de l'extrait méthanolique de la plante entière de *H. suaveolens* (Islam et al., 2014). La plante a une bonne valeur médicale en raison de la présence d'huiles essentielles, d'alcaloïdes, de flavonoïdes, de phénols, de saponines, de terpènes et de stérols (Sharma et al., 2013). Cependant, la plupart des travaux sont relatifs à son huile essentielle. Une grande variation dans la quantité et la composition chimique des huiles volatiles de *H. suaveolens* est rapporté dans la littérature. En Afrique de l'Ouest, la plante est utilisée pour ses propriétés carminatif, sudorifique (causant ou augmentant la sueur), lactogène, anti-catarrhale et antiparasitaire. Il a été également signalé que la plante possédait de propriétés antifertilité, anti-inflammatoire et antiplasmodiale (Sharma et al., 2013). Au Sénégal, les inflorescences sont introduites sous les matelas comme insecticides. La fumée dégagée par la combustion de la plante entière constitue

un excellent insectifuge. Les extraits de *H. suaveolens* sont aussi utilisés dans la préparation des mosquitos (bâtons fumigènes contre les moustiques) (Kerharo et Ada, 1974).

Figure 6. *Hyptis suaveolens*

### I.3.3. *Anacardium occidentale* Linn. (Anacardiaceae)

L'anacardier *Anacardium occidentale*, de la famille des Anacardiacées, est un arbre originaire du littoral de l'Amérique tropicale orientale (Kerharo et Adam, 1974). Il est résistant aux fortes chaleurs mais très sensible aux basses températures. L'anacardier a été introduit au Sénégal comme essence de reboisement. Aujourd'hui, il est de plus en plus cultivé pour sa graine et son fruit aux nombreuses utilisations (Kerharo et Adam, 1974). *A. occidentale* est un arbre à cime large mesurant de 6 à 12 m de haut, parfois atteignant 15 mètres sur les sols favorables. L'anacardier a une silhouette globuleuse à port retombant. L'anacardier jouit depuis toujours d'un grand estime grâce aux qualités rafraîchissantes de son faux fruit et aux vertus médicinales attribuées aux différentes parties de l'arbre (Lefebvre, 1969). L'écorce, le jus de fruit et les feuilles de l'arbre sont utilisés en médecine traditionnelle dans le traitement de certaines maladies (Kerharo et Adam, 1974). L'amande contenue dans la coque est riche en huile, en protéines et en sucre (Lefebvre, 1969 ; Kerharo et Adam, 1974 ; Lautié et al, 2001). Des études ont montré que les extraits de feuilles et d'écorce de *Anacardium occidentale* contiennent des alcaloïdes, des saponines, des flavonoïdes, des tanins, des HCN, des phénols et des anthocyanines (Ayepola et Ishola, 2009 ; Belonwu et al., 2014). L'analyse phytochimique de la poudre de tégument de la noix de cajou a révélé la présence de divers composés tels que les triterpénoïdes, les composés phénoliques, les huiles volatiles, le xanthoprotéine, les hydrates de carbone, les flavonoïdes et les glucides (Kannan et al., 2009). Des activités biologiques,

notamment hypoglycémiants, antimicrobiens, molluscicides et leishmaniens, ont été rapportées chez *A. occidentale*. La plante présente aussi des propriétés médicinales, insecticides et imperméabilisantes qui font actuellement l'objet de nombreuses recherches (Kamtchouinga et al., 1998 ; Gonçalves et al., 2012 ; Belonwu et al., 2014).

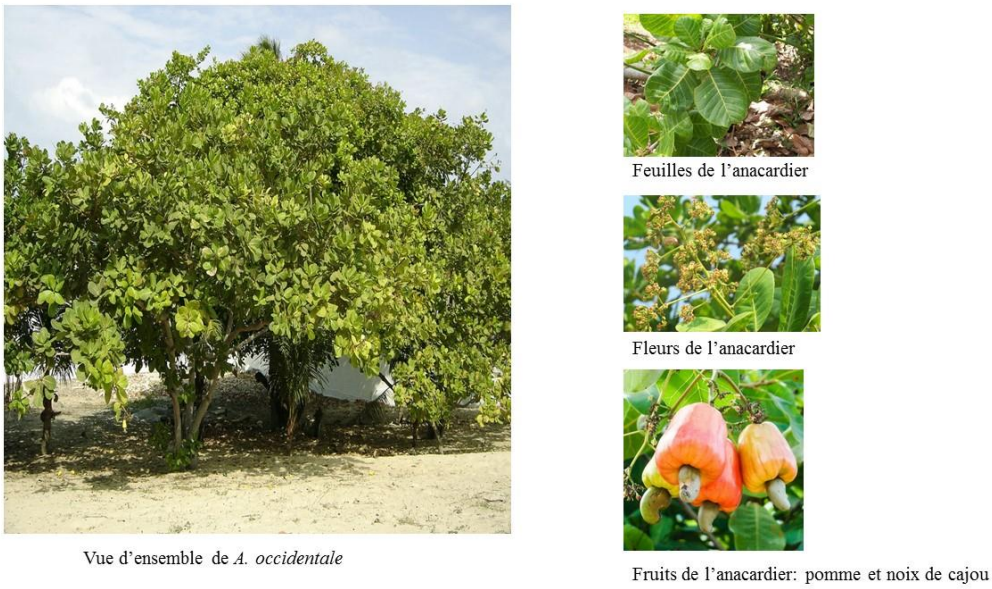


Figure 7. L'anacardier (*A. occidentale*) avec ses feuilles, fleurs et fruits

**I.4. Production cotonnière au Sénégal**

La filière coton est la plus encadrée au Sénégal, de la préparation du sol à la commercialisation. Cet encadrement est assuré par la seule Société de Développement et des Fibres Textiles (SODEFITEX). Les producteurs sont organisés en une fédération (FNPC) qui les représente auprès de la SODEFITEX, des autorités et partenaires techniques financiers. La culture cotonnière couvre le tiers sud du Sénégal avec pour rôle d'accroître les revenus des producteurs, de servir de moteur du développement rural dans les zones d'implantation et de contribuer à la croissance économique du Sénégal. Le coton est cultivé pour l'essentiel par de petits producteurs qui font en moyenne moins d'un hectare de coton **(**PAN AFRICA 2002 ; Diagne, 2008). La chute des rendements conventionnels en raison de l'utilisation réduite de pesticides et d'engrais après la libéralisation, les aléas pluviométriques ainsi que les dégâts accrus causés par les ravageurs ont conduit à la mise en place du projet de coton biologique de Koussanar en 1995 (Ferrigno et al., 2005). Le tableau 1 indique l'évolution statistique du coton au Sénégal de 2013 à 2018. Une baisse progressive de la production allant d'environ 28000 en 2013/2014 à 16000 tonnes en 2017/2018 a été notée.

Tableau 1. Evolution statistique du coton au Sénégal de 2013 à 2018 (SODEFITEX)

| Statistiques annuelles de production de coton | | Coton conventionnel | Coton équitable conventionnel | Better Cotton Initiative | Coton bioéquitable | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **2017/2018** | Superficie (ha) | 19 827 | 1 965 | 3 236 | 67 | **19 844** |
| | Rendement moyen (Kg/Ha) | 826 | 983 | 473 | 202 | **826** |
| | Production (tonne) | 16 280 | 1 933 | 1 532 | 13 | **16 376** |
| | Nombre de producteurs | 27 259 | 3 803 | 2 957 | 280 | **22 138** |
| **2016/2017** | Superficie (ha) | 20572 | 2 112 | 4 818 | 92 | **20 562** |
| | Rendement moyen (Kg/Ha) | 737 | 812 | 376 | 108 | **737** |
| | Production (tonne) | 15160 | 1 714 | 1 811 | 10 | **15 162** |
| | Nombre de producteurs | 27260 | 3 801 | 5 036 | 295 | **27 422** |
| **2015/2016** | Superficie (ha) | 30570 | 2 763 | 5 580 | 85 | **30 570** |
| | Rendement moyen (Kg/Ha) | 663 | 886 | 578 | 112 | **663** |
| | Production (tonne) | 20273 | 2 447 | 3 224 | 10 | **20 273** |
| | Nombre de producteurs | 35466 | 6 202 | 5 510 | 230 | **35 466** |
| **2014/2015** | Superficie (ha) | 29161 | 4 333 | 2 968 | 79 | **29 161** |
| | Rendement moyen (Kg/Ha) | 910 | 967 | 943 | 218 | **910** |
| | Production (tonne) | 26546 | 4 189 | 2 797 | 17 | **26 546** |
| | Nombre de producteurs | 35435 | 6 295 | 3 560 | 258 | **35 435** |
| **2013/2014** | Superficie (ha) | 32260 | 4 874 | Néant | 26 | **32 260** |
| | Rendement moyen (Kg/Ha) | 893 | 928 | Néant | 154 | **893** |
| | Production (tonne) | 28819 | 4 528 | Néant | 4 | **28 819** |
| | Nombre de producteurs | 40137 | 7 565 | Néant | 85 | **40 137** |

### I.4.1. Historique de la production cotonnière au Sénégal

La culture du coton a été introduite au Sénégal après les indépendances précisément au début des années 1960. C'est en 1964 que la CFDT s'est installée dans le pays pour développer cette culture et ceci dans le but de diversifier l'agriculture fortement tributaire à l'époque de l'arachide. Les premiers essais sous pluie sont ainsi démarrés par la CFDT au Sine Saloum, au Sénégal Oriental et en Haute Casamance. A la fin des années 1990, la translation des isohyètes vers le sud a entrainé dans son sillage la culture du coton vers les marges du pays, la région de Kolda (principalement la Haute-Casamance) et celle du Sénégal oriental. Dix ans après sa naissance, la CFDT a été remplacée par la Société de Développement et des Fibres Textiles (SODEFITEX). A sa création en 1974, la SODEFITEX a développé une stratégie basée sur une intensification de la culture du coton. Pour renforcer cette stratégie, la SODEFITEX distribuait gratuitement les intrants aux producteurs de coton et s'assuraient de la collecte du coton graine produit (Anonyme[2] 2016 ; Sall, 2007). Au début des années 80, pour augmenter la production qui évoluait en dent de scie à cause des aléas climatique, la SODEFITEX a mis en place une politique d'alphabétisation fonctionnelle basée sur la formation des relais techniques villageois.

En 1989, la décision unilatérale de la SODEFITEX de diminuer de 50% les subventions sur les insecticides a déclenché une grève communément appelée la « fronde du coton ». Les acteurs de la filière coton apportent sous l'impulsion de l'Etat, une réponse intelligente à cette crise en créant le Comité Consultatif du coton. De leur côté, ces producteurs conscients de leur poids dans la filière ont entamé un processus d'organisation et de professionnalisation qui a abouti en 1998 à la naissance de la Fédération Nationale des Producteurs de Coton (FNPC). L'émergence de la FNPC a marqué la fin du rapport de tutelle entre la SODEFITEX et les producteurs et a jeté les bases d'une relation partenariale plus égalitaire entre les deux principaux acteurs de la filière (Blanguernon 1978 ; Flanchette, 2011 ; Anonyme[2] 2016 ; Sall, 2007).

### I.4.2. Bassin cotonnier du Sénégal

Le bassin de production cotonnière s'étend au sud du Sénégal entre 12,05° et 14,05° de latitude Nord et 11,2 et 16,1° de longitude Ouest. Située dans le tiers sud du Sénégal, il couvre près de 46 % du territoire national et 27 % de la population totale du Sénégal. Le bassin de production cotonnière recouvre les régions naturelles du Sénégal oriental, de la Casamance continentale et le Sud du Sine-Saloum. Il est subdivisé en 3 zones agro-écologiques selon le gradient de pluviosité : zone sèche, zone médiane et zone humide. La contribution des zones à la production de coton-graine se situe respectivement à hauteur de 60, 30 et 10 % pour les zones agro-climatiques humides, intermédiaires et sèches, pour une production totale variant de 25 000 à 50 000 t de coton-graine, selon les années (Ndour et al., 2017).

### I.4.3. Coton conventionnel

Le coton conventionnel est du coton qui est produit en utilisant des produits chimiques de synthèse pour le traitement des semences, la protection de la culture et les engrais minéraux pour la fertilisation du sol dans le système de production (Nature, Mode d'approvisionnement) (PAN AFRICA, 2002). Au Sénégal, la culture du coton se fait principalement de façon conventionnelle.

#### I.4.3.1. Organisation de la filière

Plusieurs acteurs interviennent dans la chaîne de coton conventionnel de la production à la consommation (PAN AFRICA 2002 ; Communication personnelle SODEFITEX, 2020) :

- La FNPC, Fédération Nationale des producteurs de Coton, compte plus de 50 000 producteurs et regroupe plus de 2000 GPC (Groupements de Producteurs de Coton). Elle a pour rôle de renforcer la capacité des producteurs à améliorer leur production et à défendre leurs intérêts.

-la SODEFITEX a pour mission d'organiser, de diriger le développement régional de la zone cotonnière, de promouvoir et de renforcer le développement de la culture du coton dans ses

zones d'intervention. La SODEFITEX achète le coton graine aux producteurs, en assure le transport, l'égrenage et la commercialisation des fibres, des graines et des résidus aux niveaux national et international.

-l'Etat apporte son appui à la filière coton par l'allègement des taxes sur les matériels et les équipements agricoles et par des subventions en cas de calamités naturelles.

-l'Institut Sénégalais de Recherche Agricole (ISRA) s'occupe de la sélection des semences de coton et des recherches sur le cotonnier (identification des ravageurs, expérimentation de nouvelles techniques de lutte, tests de dosage des pesticides).

-Les partenaires internationaux apportent des appuis techniques et financiers à la SODEFITEX et gèrent aussi des projets de développement.

-les firmes agro-pharmaceutiques fournissent à la SODEFITEX des intrants agrochimiques. Ils accordent des crédits à la SODEFITEX en cas de conjoncture financière difficile.

-La SODEFITEX et la FNPC bénéficient souvent du concours financier des banques et des caisses (CLS, SGBS, CNCAS, etc.) pour le financement de la campagne agricole, la collecte et l'achat de coton-graine.

**I.4.3.2. Conduite technique de la culture du coton au Sénégal**

Le cotonnier entre en rotation principalement avec le mil, le sorgho, le maïs ou l'arachide en fonction des zones de production et des habitudes alimentaires. Le cycle commence en juin-juillet et prend fin en novembre - décembre. La variété de cotonniers actuellement cultivées est la STAM 129 A issue du Togo. L'adoption des itinéraires techniques de conduite de la culture cotonnière proposés par la recherche présentent alors de grandes variations d'une parcelle à l'autre au sein d'une même unité géographique à cause du non respect de la totalité des recommandations.

Tableau 2. Itinéraire technique vulgarisée dans le bassin cotonnier du Sénégal (SODEFITEX)

| Intervention | Date | Recommandation et variation par zone | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Sèche | Médiane | Sud |
| Préparation du sol | Dès la 1ére pluie utile | Le labour est préférable au grattage | | |
| Semis | Dès la 1ére pluie utile | Avant le 10 juillet | | Avant 20 juillet |
| | Retard d'installation | Jusqu'au 10 juillet | | Jusqu'au 20 juillet |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | -avec semoir (super eco) : maintenir le disque 16 trous et insister au respect strict des écartements de semis surtout sur terres fertiles en zone médiane | Avec semoir (super eco) : retourner au disque 18 trous pour les producteurs ayant des parcelles fertiles et semant avec des écartements inférieurs au standard (0,80 m entre les lignes). |
| | | Semer en ligne avec une corde de semis avec des repères (écartement entre poquets de 25 cm) - Mettre 2 à 3 graines par poquet pour les semences délintées - Il faut recouvrir les graines sans trop tasser la terre | |
| | | -Ressemis des manquants au plus tard entre le 7ème et le 10ème jour après semis<br>-Démariage au plus tard 5 JAL en vue d'une densité de 5 à 6 plants par m² | |
| Iulicidage (protection des jeunes plants) | Du semis à la levée | Faire un appât constitué d'un support (son de céréales ou de la coque d'arachide pilée) et d'une substance toxique (Spinox) ;<br>-Dosage par corde : 10 kg de son + 5 litres d'eau + 25 grs de Spinox (bien mélanger le tout)<br>-Période et mode d'application : durant la période allant de l'installation des semis à la levée complète, épandre l'appât par tas de 100 g, soit environ une poignée, disposés tous les 5 m entre les interlignes de semis ; Arrivé au bout de la corde, l'opérateur saute 5 interlignes et répète l'application. | |
| Herbicidage | 0 à 2 JAS | L'herbicidage prélevée des adventices doit se faire en humide sur un sol bien préparé au plus tard 2 jours après le semis<br>-Callifor G= 3 litres/ha (après semis) ; herbicide prélevé du cotonnier et prélevée des adventices (sur parcelle nue et en humide) ;<br>-Power associé au Finish 360 ou au Kalach = 1kg/ha + Glyphosate (Finish ou Kalach) = 0,5 à 0,5l/ha (après semis); herbicide prélevé du cotonnier et des adventices (sur parcelle nue et en humide) ;<br>-*Kalach* = 3 litres /ha (2 jours avant semis cotonnier) ; herbicide prélevé du cotonnier et post-levée des adventices | |
| Fertilisation organique | Début des pluies et avant le labour | Fertilisation organique : (compost, fumier, lisier, etc.) doit être arrosé pour réduire les risques d'enherbement en faisant germer les graines s'y trouvant et transporté au champ et disposé sur la parcelle en petits tas qui seront étalés et enfouis dès les premières pluies par un labour à la charrue ou un grattage à la houe sine.<br>Il est recommandé 4 t/ha, soit 16 charrettes à bœufs ou à cheval ou 26 charrettes à âne correspondant à (4 charrettes à bœuf ou à cheval ou 7 charrettes à âne par corde). | |
| Fertilisation de fond | Dernier moment préparation du sol ou au semis | 150 kg/ha ou 37,5 Kg/corde de NPKSB (14-23-14-5-1) ou NPKSBCaO (14-18-18-5-1 -2,5)<br>Après le labour et avant la pulvérisation d'herbicide de prélevée, épandre l'engrais le long de la ligne imaginaire de semis à 10 cm de la ligne | 200 kg/ha ou 50 kg/corde de NPKSB (14-23-14-5-1) ou NPKSBCaO (14-18-18-5-1 -2,5)<br>Juste après le semis et avant la pulvérisation d'herbicide de prélevée épandre l'engrais le long de la ligne de semis à 10 cm de la ligne, le recouvrir |
| Sarclobinage | 1er sarclage 10 à 15 JAL | C'est l'opération culturale qui permet de détruire les mauvaises à l'aide des instruments aratoires | |

| | | |
|---|---|---|
| Fertilisation de couverture | 30ème ou 45ème JAL | Avec l'urée (46%) 50 kg/ha : épandue à la volée dans l'interligne ou placé dans un sillon tracé à 10 cm de la ligne avant le buttage. On prendra soin d'éviter le contact de l'urée avec les feuilles qu'elle risque de brûler après humidification. Le recouvrement se fait aussitôt après épandage (par buttage par exemple). |
| Buttage | 45ème JAL | Le buttage est effectué à l'aide du butteur ou à défaut avec la charrue après fertilisation à l'urée ou à partir du 45ème jour après levée du cotonnier. |
| Traitement phytosanitaire | 30ème JAL | -Programme avec 3 fenêtres et au moins 7 traitements. L'intervalle de temps entre 2 traitements est de 14 jours pour la 1ère fenêtre et 10 jours pour la 2ème et 3ème fenêtre<br>-Traitement sur seuil |
| Récolte | 90 à 150 JAL | Récolte manuelle, échelonnée en 3 fois.<br>-se munir de deux contenants. (Cf. sac de récolte en cotonnade, ou des paniers) ;<br>-récolter les capsules en suivant la ligne et évite d'incorporer : les corps étrangers, les quartiers orange et les autres impuretés<br>-procéder au triage pendant la récolte et séparer le coton blanc du coton fumaginé<br>-Utiliser des sacs en cotonnade ayant deux contenants ou deux ''poches'' ou des paniers fabriqués localement<br>-En cas de récolte précoce, étaler le coton récolté pour être séché, prévoir une couverture imperméable (toile ou bâche) pour couvrir le tas contre les pluies |

#### I.4.3.3. Protection phytosanitaire du cotonnier au Sénégal

Les travaux de recherche pour la protection du cotonnier ont porté pour l'essentiel sur la lutte chimique. Le programme a permis d'identifier les ravageurs, d'établir un réseau expérimental de suivi du complexe parasitaire, d'étudier la dynamique des populations des principaux ravageurs, leur nuisance et leur distribution spatiale. Les études ont aussi abouti à la mise au point d'un schéma cohérent d'expérimentation phytosanitaire (stations et points d'appui pour la recherche d'accompagnement, petite et grande prévulgarisation pour la recherche-développement, vulgarisation) et à une gamme plus étendue de nouvelles molécules à vulgariser. L'usage de doses de matières actives plus faibles mais biologiquement efficaces a été recommandé et des programmes de protection moins coûteux ont été mis en place (Badiane, 1995 ; Badiane, 2000). La stratégie de gestion de la résistance en culture cotonnière mise en place au Sénégal et en Afrique de l'Ouest recommande: i) la suppression des pyréthrinoïdes lors des traitements ayant lieu avant le 25 août, pour limiter la sélection d'individus résistants chez la première génération, ii) les premiers traitements avec des insecticides alternatifs qui ne présentent pas de résistance croisée positive, iii) les traitements suivants avec des mélanges à base d'organophosphorés synergisants pour accroître l'efficacité des pyréthrinoïdes (Badiane et al., 2015). Les différents principes actifs testés et recommandés au Sénégal contre les principaux nuisibles du cotonnier sont précisés dans l'annexe 3.

### I.4.4. Coton biologique au Sénégal

Le coton biologique est le coton produit en s'abstenant systématiquement de l'utilisation des produits chimiques de synthèse (engrais chimiques et pesticides de synthèse). Ce coton est produit en valorisant les ressources locales c'est-à-dire les plantes insecticides et insectifuges telles que les graines de neem (arbre local dont les graines ont des propriétés insecticides), la bouse de vache, le fumier, le tourteau de palmiste etc. (Anonyme[3], 2002).

#### I.4.4.1. Historique

La première expérience de production de coton biologique au Sénégal a commencé à partir de 1995. Il s'agit des expérimentations conduites par Enda Pronat à Koussanar dans la région de Tambacounda et par le Groupement d'Intérêt Economique (GIE) dénommé BIO-AGRO à Vélingara dans la région de Kolda (PAN AFRICA, 2002 ; communication personnel SODEFITEX, 2020).

- C'est dans un contexte de crise suite à la chute régulière de la production de coton à partir de 1992 et la dévaluation du franc CFA en janvier 1994, etc. qu'Enda-Pronat et Pesticides Trust (actuellement PAN-UK) ont démarré une action de production de coton biologique dans la zone de Koussanar. Le programme a commencé par une campagne de sensibilisation aux dangers liés à l'utilisation des pesticides chimiques de synthèse. Par la suite, une étude de faisabilité pratique s'est effectuée en 1994 avec deux paysans volontaires. Les raisons étaient de deux ordres **(i)** les graves effets négatifs de l'utilisation de pesticides, pouvant aller d'une intoxication aiguë à des effets à long terme sur la santé, et **(ii)** le risque élevé d'endettement des familles agricoles en raison du prix élevés des intrants de pesticides **(**PAN AFRICA, 2002 ; FFB, 2011). Les résultats prometteurs obtenus ont permis en avril 1995 de procéder au recensement et à la sélection des paysans volontaires pour la réalisation du projet **(**Kouakou, 2004). En 1997, les producteurs de coton bio de Koussanar ont créé le GIE Yakaar Niani Wuli (YNW). Après trois ans, le projet pilote de coton biologique a porté ses fruits et Enda Pronat réussit à obtenir à cette même année, la certification biologique officielle pour 100 agriculteurs (FFB, 2011). Les producteurs de FYNW ont repris la culture du coton biologique avec la collaboration de la SODEFITEX durant la campagne 2019/ 2020 après une pause d'environ 6 ans (2012) liée principalement à de faibles rendements et à des coûts de certification très onéreux (SODEFITEX).

-Le projet de coton biologique de Vélingara a été introduit en 1997 par un commerçant sénégalais avec la collaboration du consultant en agriculture biologique alors impliqué dans le projet d'ENDA-PRONAT de Koussanar. L'appui financier a été apporté au cours des premières années par le programme commercial de promotion de l'agence de développement allemande

GTZ. L'égrenage du coton graine a été assuré au début par la SODEFITEX et les fibres ont été vendues à la Cotonnière du Cap Vert (CCV), une société de tissage locale. Par la suite, le commerçant sénégalais, la CCV et l'acheteur allemand Hess-Natur se sont retirés l'un après l'autre. Le BIOAGRO avec la collaboration étroite de la consultation en agriculture biologique Basée au Royaume Uni Ecotropic a repris le projet. Depuis 1999, des conflits ont eu lieu entre le projet de Vélingara et la SODEFITEX. Ces conflits ont abouti en 2001 à une action en justice engagée par BIO-AGRO et Ecotropic contre la SODEFITEX. Celle-ci prétendait que le projet achète le coton graine des producteurs conventionnels (PAN AFRICA, 2002).

-De 2004 à 2006, la SODEFITEX et la FNPC appuyées par les ONG Helvetas et Agrecol Afrique ont initié et mis en œuvre le Projet de Développement de Coton Biologique dans les secteurs de Missirah et de Koungheul. Des expériences ont été capitalisées, aussi bien par les acteurs contractants, que par les producteurs. Le développement du coton biologique s'est poursuivi à travers des groupements de producteurs biologiques avec les programmes de l'AFD de 2007 à 2008 et de l'UEMOA de 2013 à 2016. Les demandes en termes d'appui conseil et d'équipement des producteurs sont assez importantes sans compter les coûts liés à la certification biologique des GIE. Une recherche incessante de ressources supplémentaires est nécessaire pour maintenir les acquis. Actuellement, un programme de réintégration est en cours de négociation entre la SODEFITEX et une coopération allemande dans les zones de Koungheul, Nioro et Bounkiling (Mbaye, 2019).

**I.4.4.2. Acteurs impliqués et rôle**

Plusieurs acteurs sont impliqués dans la réalisation des différents projets de coton biologique avec principalement les ONG initiatrices. Au Sénégal, la filière de coton biologique s'organise autour de (PAN AFRICA, 2002 ; Kouakou, 2004 ; SODEFITEX) :

-les producteurs organisés en unions, regroupées elles-mêmes en fédération (FYNW, FNPC);

-l'équipe de ENDA-Pronat qui organise, gère et coordonne les activités du projet ;

-l'ONG Pesticide Action Network United Kingdom (PAN-UK) s'occupe de rechercher les fonds pour le projet et se charge d'élaborer une stratégie de commercialisation ;

-ECOCERT, organisme de certification basé en France avec un représentant au Sénégal ;

-Le Groupement d'Intérêt Economique (GIE) de femmes qui se charge de collecter, de transformer et de commercialiser les graines de neem ;

-La SODEFITEX vend les semences au projet assure l'égrenage de son coton et enfin achète souvent aux producteurs le coton graine non-conforme aux exigences biologiques ;

-Le GTZ, l'AFD et l'UEMOA apportent des appuis techniques et financiers ;

-L'ISRA qui assure la recherche scientifique.

#### I.4.4.3. Raisons motivant les paysans à la culture de coton biologique

Au plan économique, le coton biologique se vend 20 % plus cher que le coton conventionnel améliorant les revenus des paysans (Kouakou, 2004). La réduction de l'endettement des producteurs liés à l'achat d'intrants chimiques, l'accès facile au matériel agricole et les mesures d'accompagnement est aussi un facteur économique motivateur. Au niveau sanitaire, considérant que les pesticides biologiques sont moins toxiques que les pesticides chimiques, leur utilisation par les producteurs présente moins de risque pour eux, leur famille et leurs animaux.

#### I.4.4.4. Technologies adoptées en matière de fertilisation et de protection phytosanitaire dans le cadre de la production de coton biologique

Des solutions préparées à partir des produits naturels sont utilisés seuls ou en association, souvent en traitement phytosanitaire et quelquefois en prévention. Les produits principalement utilisés sont le neem (*Azadirachta indica*) et l'urine de vache. D'autres plantes *Khaya senegalensis* (dont le macéré de l'écorce est utilisé en pulvérisation) et *Cassia nigritans* (une plante annuelle dont le macéré est utilisé en pulvérisation) font l'objet de recherches actives par les paysans. La fertilisation consiste en l'utilisation de fiente de volailles, de bouse de vache, de cheval ou de chèvre. De plus, des pratiques de gestion de fertilité des sols sont appliquées notamment la rotation coton – légumineuses – céréales – légumineuses (PAN AFRICA, 2002 ; communication personnel SODEFITEX, 2020).

#### I.4.4.5. Impacts de la production de coton biologique

##### I.4.4.5.1. Impacts sanitaires et environnementaux

Les producteurs ont reconnu être moins exposés aux effets toxiques des pesticides chimiques. Le projet de coton biologique a contribué à l'amélioration de leur santé, de celle de leurs familles et de leur bétail. Les problèmes de santé comme les maux de tête, le mal des yeux, la sensation de chaleur sur le corps, les démangeaisons après traitement, la diminution des cas d'accidents et d'empoisonnement liés aux produits phytosanitaires au niveau de la famille notamment chez les enfants ont nettement diminué (PAN AFRICA, 2002 ; SODEFITEX).

##### I.4.4.5.2. Impacts socio-économiques

L'intérêt prioritairement cité par les producteurs pour la culture du coton biologique est la baisse substantielle des coûts de production. Des actions d'alphabétisation et d'accompagnement social sont mises en place grâce aux primes spécifiques. La place des femmes évolue dans le sens d'une plus grande égalité et celles-ci occupent des positions plus importantes dans la Fédération (CTB, 2011 ; Mbaye, 2019). L'organisation des producteurs en groupements, en

unions et en fédérations a contribué à améliorer son fonctionnement et adopter des pratiques et des structures plus transparentes, plus démocratiques et plus efficaces (PAN AFRICA, 2002).

### I.4.4.6. Conduite technique du coton biologique au Sénégal

La préparation de la campagne agricole commence au mois d'avril par le recensement des villages et des producteurs intéressés par le projet de coton biologique. L'itinéraire technique de la culture du coton biologique est exposé dans le tableau 3.

Tableau 3. Itinéraire technique de la culture du coton biologique au sénégal (SODEFITEX)

| Opérations culturales | **Recommandations** |
|---|---|
| Choix des terres | -Choisir les terres n'ayant pas reçu les engrains et produits chimiques (exemple les herbicides, fongicides et insecticides etc.) sur une période de o 3 ans au plus<br>-Choisir les terres n'ayant pas reçu le feu de brousse<br>-Choisir les terres en friches dont la culture précédente n'a pas reçu des traitements chimiques<br>-Eviter les terres non accessibles |
| Préparation du sol (défrichement, labour) | -Effectuer le défrichage manuel<br>-Le labour est recommandé aux paysans |
| Fertilisation | -Utiliser les engrains organiques tels que le compost, le fumier d'étable, d'écurie ou de poulaillers (élevage sur sol) ou fumier de parcage traditionnel (4t/ha)<br>-Apporter du compost avant le labour et pendant la culture en champs<br>-Cultiver les légumineuses qui enrichissantes le sol comme les arachides<br>-Appliquer les bonnes rotations de cultures, arachide, coton, maïs par exemple<br>-Réduire les exportations de débris de récolte (arachide, maïs, sorgho etc.)<br>-Fabriquer un compost bien mûr |
| Semis | Les semis débutent généralement en juillet. Le semis précoce est recommandé car il présente l'avantage de lutte contre certains ravageurs. Les semis se font à la main ou avec un semoir tracté par des chevaux ou des ânes. |
| Gestion des mauvaises herbes | -Pratiquer la bonne rotation des cultures<br>-Effectuer des sarclages réguliers : Le sarclage manuel se situe en moyenne entre 2 et 3 semaines après le semis. Au cours du sarclage manuel, on procède au démariage des cotonniers (procédé consistant à supprimer certains jeunes plants afin de respecter la distance réglementaire entre 30 et 35 cm). Il est suivi du sarclage mécanique.<br>-Effectuer le buttage cloisonné. Le buttage est la troisième opération qui permet de conserver l'humidité du sol pendant les poches de sécheresse<br>-Respecter les densités de semis |
| Gestion des ravageurs | **Gestions préventives**<br>-utilisation des plantes pièges (maïs, sorgho, gombo, pois cajan, hibiscus etc.)<br>-Rechercher les ravageurs le matin (entre 8 et 11 heures)<br>-Enlever les tiges de coton attaqué<br>-Couper les tiges de coton après la récolte et le passage des animaux de pâture<br>-Nettoyer les silos/magasins de stockage (lutte contre dysdercus)<br>-Pratiquer la rotation des cultures (légumineuse-coton – céréales-)<br>-Utilisation des solutions de cendres de bois non traités<br>**Gestion directe**<br>-Utilisation des pesticides naturels : Neem (poudre ou huile)<br>- Augmenter les quantités de manière graduelle.<br>-Répulsifs : comme ail, piment, oignon<br>-Autre préparation : purin (feuilles de neem + bouse de vache + eau) après fermentation. |
| Récolte, transport et stockage | La récolte débute généralement en novembre et se poursuit jusqu'en janvier. La technique |

| | |
|---|---|
| | de récolte utilisée est la manchette à main. Le coton récolté est stocké en tas dans des cases ou dans des silos spécifiques.<br>-Utiliser les sacs de récolte ou tout autre matériel conseillé par l'encadrement<br>-Bien conserver le coton des mouilles (eau)<br>-Récolter le coton en commençant par la base et en faisant le triage<br>-Eviter de mélanger les quartiers de coton fumaginée ou immature des quartiers blancs<br>-Avant récolte, préparer des claies avec du matériel végétal non contaminé ou bien aménager un espace qui recevra le coton<br>-Eviter de stocker le coton sur du sable, dans la chambre à coucher ou au salon<br>-Eviter de stocker le coton bio avec d'autres produits ayant reçus les engrais et traitements (maïs, niébé etc.)<br>-Nettoyer la charrette ou autre équipement de transport avant le transport du coton biologique |

### I.4.5. Le coton équitable et bio-équitable du Sénégal

La production et le commerce équitable visent à améliorer les revenus des petits producteurs et des travailleurs marginalisés des pays en créant des conditions de travail plus favorables. Les principes essentiels du commerce équitable sont des procédures transparentes et démocratiques dans la prise de décisions, l'indépendance des producteurs, le payement d'un juste prix et salaire, l'égalité entre les sexes et la non-discrimination, des conditions de travail sûres et saines ainsi que des pratiques de production soucieuses de l'environnement.

-Le **coton équitable** : face à une aire de production géographiquement limitée, la SODEFITEX s'est engagée dans une politique de qualité de la filière : certification ISO 9001. Dans ce cadre, elle est positionnée depuis 2011 sur un scénario de basculement complet dans le commerce équitable. Le coton équitable a démarré avec l'engagement de l'US-GPC de Kédougou en 2004 par Fairtrade. L'introduction du commerce équitable dans les régions de Tambacounda, Vélingara et Kolda permet d'étendre les bénéfices liés au commerce équitable. Le négoce du coton au Sénégal reste sous monopole de la SODEFITEX. Sur ces 20 000 tonnes commercialisées, près de 2000 tonnes sont produites et vendues dans le cadre du commerce équitable (Anonyme[4], 2008b ; CTB, 2011 ; Doliguez et al., 2014).

-Le **coton bio-équitable** : un projet-pilote « coton/textile » a été initié par Enda Pronat dans le cadre du programme « Développer des pratiques du commerce équitable au Sénégal ». Il vise non seulement à soutenir la culture de coton équitable et biologique mais aussi à développer une filière de production de produits finis qui doit permettre aux producteurs locaux de tirer profit des bénéfices des étapes de production à haute valeur-ajoutée (CTB, 2011 ; Doliguez et al., 2014). Le coton YNW est certifié équitable par FLO Cert depuis 2006 (FFB, 2011).

## CHAPITRE II : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

L'étude a été menée à travers le bassin cotonnier durant les campagnes agricoles de 2015, 2016, 2017 et 2018. Le bassin cotonnier recouvre les régions naturelles du Sénégal Oriental, de la Casamance continentale et le Sud du Sine Saloum. En fonction de la pluviométrie, le bassin de production cotonnière est subdivisé en trois zones agro-climatiques :

-une zone sèche au nord-ouest du bassin cotonnier avec une pluviosité moyenne annuelle variant de 500 et 600 mm. Elle regroupe les secteurs de Nioro, Koungheul et Koussanar. Les sols sont majoritairement sablo-limoneux (type *dior*). Les rendements en coton graine sont généralement les plus faibles du bassin cotonnier (moins de 1t/ha) ;

- une zone intermédiaire située dans la partie nord-est du bassin et sud de la frontière sud avec la Gambie, avec une pluviosité comprise 700 et 800 mm. La partie médiane regroupe les secteurs de Bounkiling, Médina Yoro Foula, Vélingara, Missira et Dianké. Les sols sont de texture argilo-sableuse (type *deck dior*). Les rendements en coton graine varient autour de la tonne ;

- une zone humide à l'Est et à l'Ouest du Parc national du Niokolo-Koba avec une pluviosité supérieure à 900 mm et pouvant dépasser 1 200 mm. Les rendements du coton graine évoluent au-delà d'1 tonne à l'hectare. La zone regroupe les secteurs de Kolda, Dabo, Pakour, Kounkané, Linkéring, Kédougou et Saraya. Les zones de Kédougou et Saraya sont rocailleuses et les sols sont argileux et caillouteux. Pour les autres secteurs, les sols ont une texture argilo-sableuse (Ndour et al., 2017).

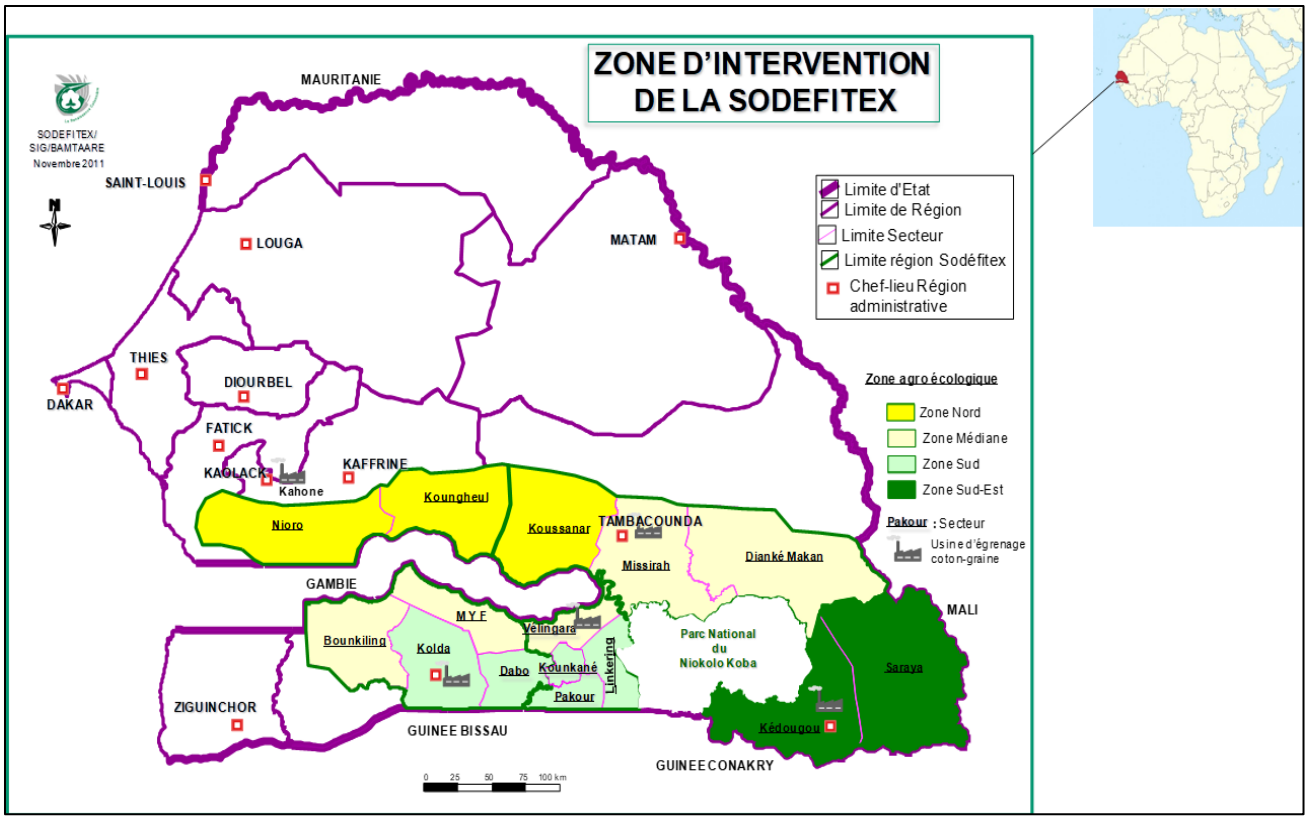


Figure 8. Le bassin cotonnier du Sénégal

Les essais ont été conduits en milieu semi-contrôlé dans 4 sites expérimentaux de la SODEFITEX appelés Antennes Multilocales d'Expérimentation (AMEX) et dans le Point d'appui à Expérimentation Multi locale (PAPEM) de l'ISRA.

-AMEX Koussanar (Latitude : 13° 51' 59.99" N Longitude : -14° 04' 60.00" W), se trouve dans la zone sèche du bassin cotonnier et dans la région de Tambacounda. Les sols sont de type deck-dior et le climat est soudano-sahélien chaud et sec.

-AMEX (Latitude : 13° 09' 0.00" N Longitude : -14° 07' 0.01" W) et PAPEM de la région de Kolda. Les sites sont localisés dans la zone médiane du bassin de production cotonnière. Le climat est tropical et les sols sont sablo-argileux.

-AMEX Dialacoto (13°20'14.64'' Nord, 13°16'19.44'' Ouest, 36 m d'altitude), situé dans la région de Tambacounda. Le site est situé dans la zone médiane du bassin cotonnier du Sénégal avec une pluviométrie variant entre 700 et 800 mm. Il est caractérisé par un climat de type steppe et les sols sont argilo-argileuses.

-AMEX Syllacounda localisé dans la région de Kédougou qui se trouve dans la zone humide du bassin cotonnier. Le site a un climat de type soudano-guinéen.

La figure 9 montre la localisation des sites des expérimentations.

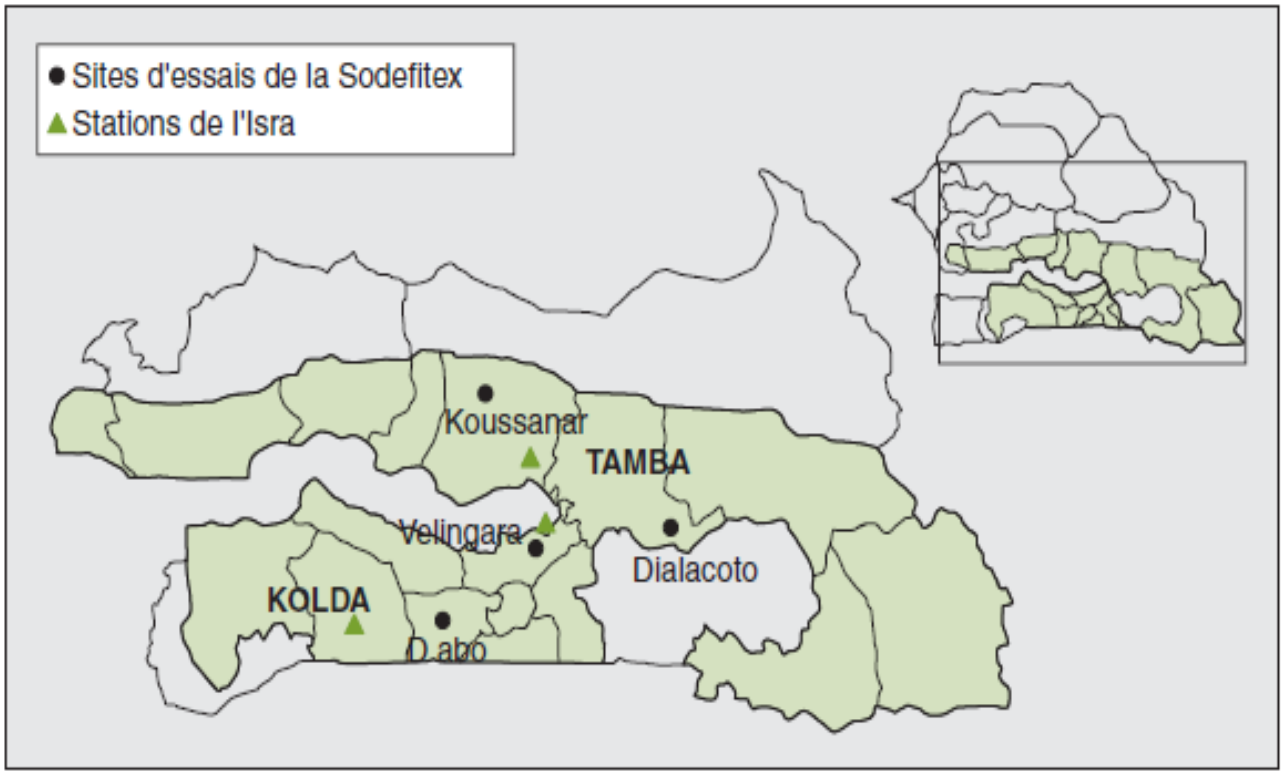


Figure 9. Bassin de production du coton au Sénégal ; localisation des centres d'expérimentions

# CHAPITRE III : PERCEPTION DES PRODUCTEURS DE COTON BIOLOGIQUE SUR L'UTILISATION DES EXTRAITS DE PLANTES DANS LA LUTTE CONTRE LES INSECTES RAVAGEURS DU COTONNIER

## III.1. Introduction

L'utilisation de pesticides en agriculture cause d'énormes problèmes dont les plus importants sont la toxicité vis-à-vis de l'homme et de l'environnement, la résistance des bioagresseurs, le déséquilibre et la réduction de la biodiversité. Dans les zones de savanes d'Afrique subsaharienne, le cotonnier est la principale culture de rente et constitue une source de revenus pour la plupart de la population même si, depuis quelques années, cette filière est confrontée à des difficultés économiques. Les paysans de la zone cotonnière, qui ont régulièrement recours aux insecticides chimiques de synthèse pour la protection des champs contre les déprédateurs, se plaignent depuis quelques années de la perte d'efficacité de ces produits vulgarisés. Des études de laboratoire ont permis de confirmer que la résistance des ravageurs, notamment de *H. armigera*, était à l'origine des échecs de traitement phytosanitaire au champ (Brévault et al., 2008 ; Sougnabe et al., 2010). Il importe alors, pour des raisons écologiques et économiques, de développer des méthodes alternatives aux pesticides de synthèse dans la protection de la culture du coton. Parmi ces méthodes, les plantes qualifiées de « pesticides » sont susceptibles de réduire significativement la pression des bioagresseurs et le besoin en insecticides de synthèse (Amoatey & Acquah, 2010). Elles sont souvent employées en premier recours contre les ravageurs par les producteurs de l'agriculture biologique (coton dit « bio »).

La présente étude a ainsi pour objectif d'analyser l'adoption de ces méthodes de lutte alternative par les producteurs de coton bio et leurs perceptions sur l'utilisation des pesticides botaniques afin de faciliter et de promouvoir le développement économiquement durable de la production cotonnière au Sénégal.

## III.2. Méthodologie

### III.2.1. Localisation et réalisation de l'enquête

Les enquêtes ont été menées dans la région de Kaffrine, dans le département de Koungheul situé dans la zone sèche du bassin cotonnier du Sénégal (Figure 21). Les principales données collectées lors de cette enquête ont pris en compte globalement les caractéristiques socio-démographiques des producteurs, la production de coton dans la zone d'étude (superficie emblavée, production, position du coton par rapport aux autres cultures, les types de ravageurs) et la perception des producteurs sur l'utilisation des pesticides et les méthodes de lutte

alternative adoptées dans la gestion intégrée des ravageurs du cotonnier. Les producteurs de coton bio enquêtés dans la région de Kaffrine sont répartis à travers deux Groupements d'Intérêt Economique (GIE) : Koukoto et Missira Wadène.

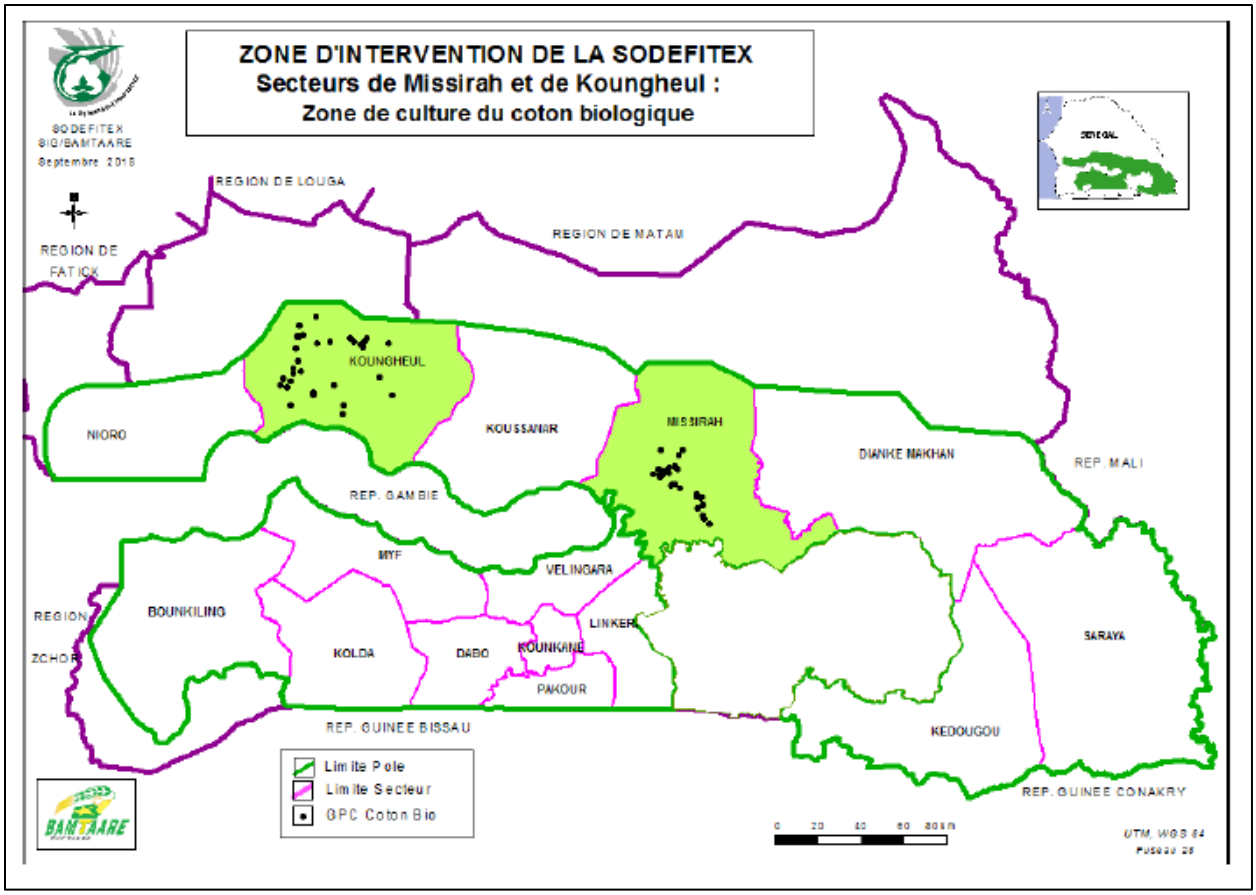


Figure 10. Zone de réalisation des enquêtes (Koungheul)

Au total, 111 producteurs de coton bio répartis dans 41 villages, organisés en GIE, ont été interrogés sur les méthodes de lutte contre les ravageurs de cette plante (Tableau 4). Le questionnaire (cf. fiche d'enquête Annexe 2) a été élaboré de façon à recueillir le maximum d'informations concernant les méthodes de lutte traditionnelle, particulièrement à base de plantes, et leurs connaissances sur les ravageurs du cotonnier, les plantes qu'ils utilisent pour protéger cette culture, les organes de la plante utilisée, le mode de préparation des extraits de ces plantes et les dangers liés aux pesticides chimiques de synthèse.

Tableau 4. Répartition des producteurs enquêtés dans le département de koungheul

| GIE | Zone | Villages | Nombre producteurs enquêté |
|---|---|---|---|
| **Koukoto** | Ngouye Diaraf | 4 | 7 |
| | St Saliou | 1 | 1 |
| | Madina Gounass | 3 | 7 |
| | Ndienguène | 5 | 10 |
| | Ndiagnène | 9 | 22 |
| | Diam Diam | 4 | 7 |
| | Koura Ndiocrane | 3 | 8 |
| | Nguinock | 1 | 7 |
| **Total prod. Koukoto** | | **30** | **69** |
| **Missira Wadène** | Ainoumane | 2 | 4 |
| | Arafat | 4 | 15 |
| | Port Ndramé | 3 | 7 |
| | Yamane | 5 | 16 |
| **Total prod. Missira** | | **14** | **42** |
| **Total prod.** | | **44** | **111** |

### III.2.2. Analyse des données

Après dépouillement des 111 fiches d'enquêtes, les données collectées ont été saisies et analysées à l'aide du tableur EXCEL 2013.

## III.3. Résultats

### III.3.1. Caractéristiques socio–démographiques des producteurs de coton biologique

L'exploitation des données d'enquête a permis de recueillir des informations sur l'âge, le genre, le niveau d'instruction, l'expérience acquise et les formations reçues en culture de coton biologique. La répartition des producteurs de coton bio suivant l'âge et le genre est donnée dans le tableau 5. Environ 23% de l'échantillon était du genre féminin. Les hommes ont constitué près de 77% des personnes enquêtées et leur âge variait entre 18 et 80 ans, tandis que cet âge variait de 18 à 50 ans pour les 26 femmes questionnées. Les personnes d'âge compris entre 41

et 50 ans ont été prédominantes dans l'échantillon des producteurs enquêtés. Les personnes d'âge compris entre 18 et 40 ans ont constitué environ 42% de l'effectif total.

Tableau 5. Répartition des producteurs de coton biologique selon l'âge et le genre

| Classe d'âge | Homme | Femme | Total | Pourcentage (%) |
|---|---|---|---|---|
| 18 à 30 ans | 12 | 10 | 22 | 19,8 |
| 31 à 40 ans | 12 | 11 | 23 | 20,7 |
| 41 à 50 ans | 27 | 5 | 32 | 28,8 |
| 51 à 60 ans | 25 | 0 | 25 | 22,5 |
| 61 à 80 ans | 9 | 0 | 9 | 8,1 |
| **Total** | **85** | **26** | **111** | **100** |
| **(%)** | **76,6** | **23,4** | **100** | |

La répartition des producteurs suivant le genre et le niveau d'instruction (Tableau 6), montre que le niveau d'instruction des producteurs enquêtés est faible. Parmi eux, 16% sont illettrés, 23% alphabétisés, 28% ont suivi l'école coranique, 4% ont le niveau du cours primaire et 0,9% du cours secondaire. Au total, 94% ont un niveau d'instruction inférieur au cours primaire. S'agissant du genre, 27% des femmes évoluant dans la culture du coton bio sont illettrées contre 12% chez les hommes.

Tableau 6. Répartition des producteurs de coton biologique suivant le genre et le niveau d'instruction.

| | Niveau d'instruction | | | | | | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Illettré | Alphabétisé | Ecole coranique | Ecole coranique Alphabétisé | Primaire Alphabétisé | Secondaire | |
| | Effectif (%) | Effectif (%) | Effectif (%) | Effectif (%) | Effectif (%) | Effectif (%) | Effectif (%) |
| Homme | 11 (12,9) | 18 (21,2) | 24 (28,2) | 27 (31,8) | 4 (4,7) | 1 (1,2) | **85 (100)** |
| Femme | 7 (26,9) | 8 (30,8) | 8 (30,8) | 2 (7,7) | 1 (3,8) | 0 (0,0) | **26 (100)** |
| **Total** | **18 (16,2)** | **26 (23,4)** | **32 (28,8)** | **29 (26,1)** | **5 (4,5)** | **1 (0,9)** | **111 (100)** |

La fréquence de distribution de l'expérience acquise en culture de coton bio a été exprimée en termes de nombre d'années de pratique. En moyenne, le nombre d'années d'expérience de l'échantillon des producteurs enquêtés a été de 6,5 ± 3,8 ans (Tableau 7). Le taux de producteurs qui ont évolué dans la culture du coton bio pour une durée comprise entre 1 et 4 ans est de 40,5%. Un pourcentage de 31,5% des personnes enquêtées ont eu 5 à 8 ans d'expérience. Environ 19% des producteurs ont eu une expérience variant entre 13 et 17 ans.

Tableau 7. Fréquence de distribution de l'expérience en culture de coton biologique

| Nombre d'années d'expérience | Effectif | Pourcentage (%) |
|---|---|---|
| 1 - 4 ans | 45 | 40,5 |
| 5 - 8 ans | 35 | 31,5 |
| 9 - 12 ans | 5 | 4,5 |
| 13 - 17 ans | 21 | 18,9 |
| Ne savent pas | 5 | 4,5 |
| **Total** | **111** | **100,0** |
| **Moyenne** | **6,5 ± 3,8** | |

### III.3.2. Place du coton biologique dans les exploitations des personnes enquêtées

Le coton biologique représente la principale culture de 25% des producteurs enquêtés (Figure 11). Le reste des producteurs cultive principalement des céréales (mil, maïs, sorgho) et des légumineuses (arachide). En outre ils cultivent aussi du sésame, du niébé et certains font même du maraîchage, principalement de l'aubergine et secondairement du gombo et de la tomate.

La majorité des producteurs (74%) cultivent le coton sur une superficie de 0,5 ha (Figure 12) et 95% des personnes enquêtées sont propriétaires de ces champs. La quantité moyenne de coton graine bio produite annuellement par les personnes enquêtées varie entre 3 et 600 Kg. Environ 26% d'entre eux produisent en moyenne 100 à 150 Kg par an (Figure 13).

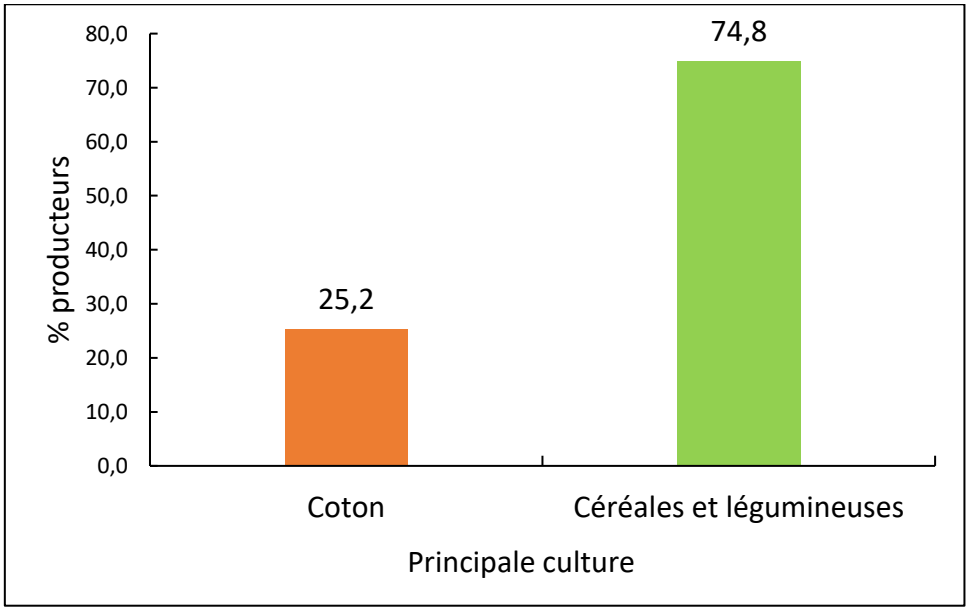


Figure 11. Répartition des producteurs de coton suivant leur principale culture

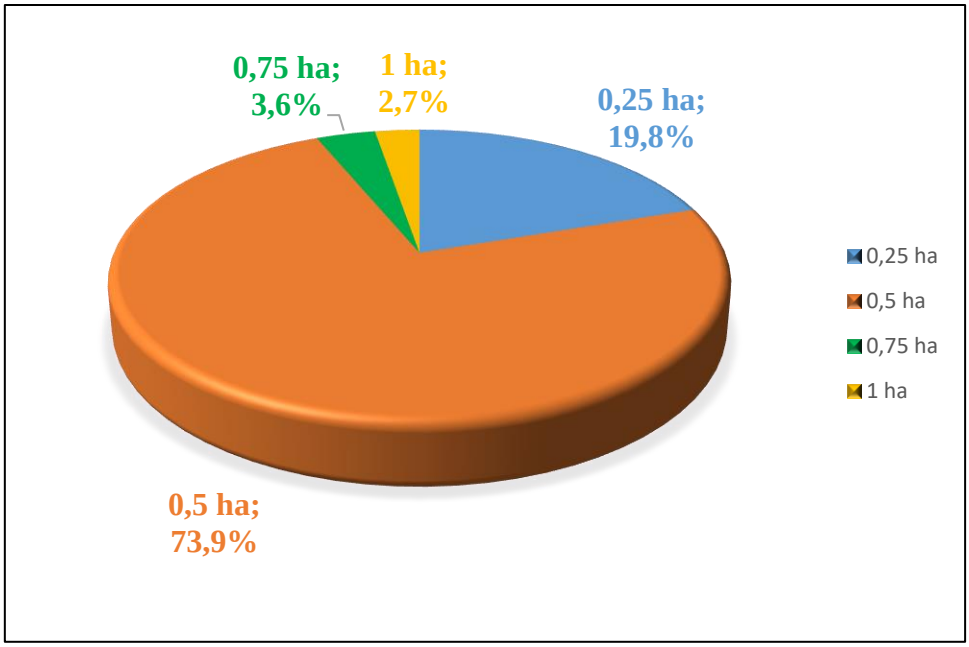


Figure 12. Superficies emblavées par les producteurs dans la culture du coton biologique

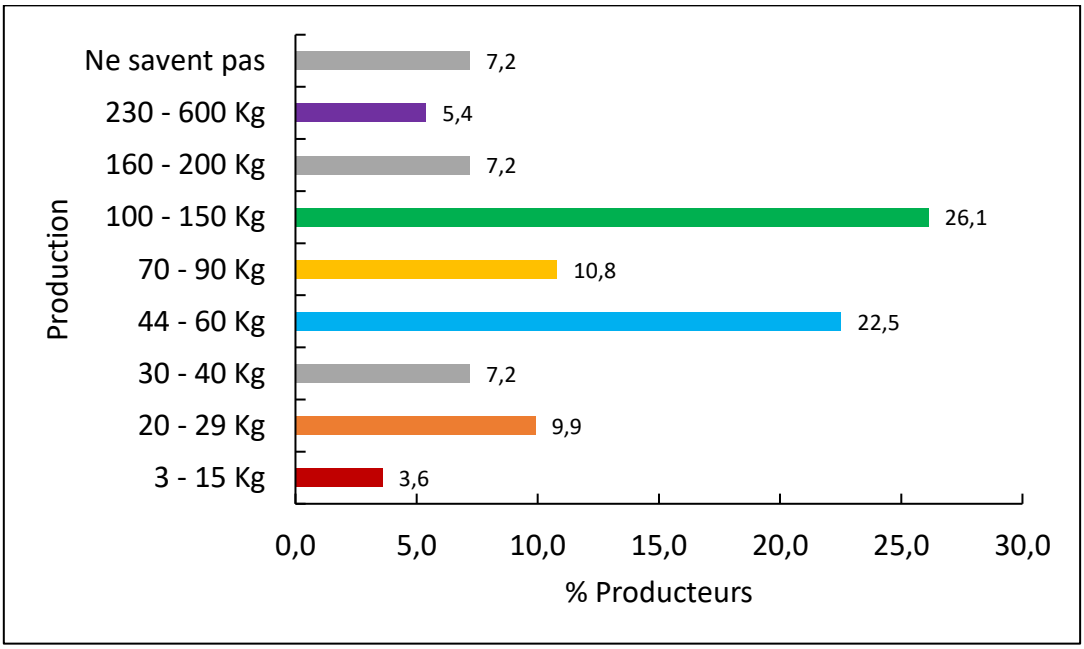


Figure 13. Fréquence des quantités de production du coton biologique

La majorité des producteurs de coton bio (87%) a révélé que le problème des ravageurs constitue la contrainte majeure à laquelle ils font face. Ils en signalent d'autres comme l'enherbement, la pauvreté des sols, les pauses pluviométriques, le manque de matériel pour les pratiques phytosanitaires ou pour le transport de la récolte.

Les principaux ravageurs rencontrés sur les champs de coton par les producteurs sont de plusieurs groupes : les chenilles de la capsule, les chenilles phyllophages, les piqueurs suceurs, les termites, les Coléoptères (du genre *Pachnoda*) et les Orthoptères (sauteriaux) (Figure 14). Ces ravageurs attaquent les plants de cotonniers à différents stades et occasionnent des dégâts importants. Les espèces les plus citées par les producteurs sont : la chenille phyllophage *Haritalodes derogata* (39,6%), *Helicoverpa armigera* (12,6%), *Pachnoda* (37,8%), *Dysdercus* (16,2%) et *Bemisia tabaci* (18,9%). Les producteurs ont particulièrement mis l'accent sur les chenilles carpophages (79%) sans distinction entre les espèces impliquées. Le coléoptère *Pachnoda* s'attaque aux capsules de cotonnier par les trous causés par *H. armigera*.

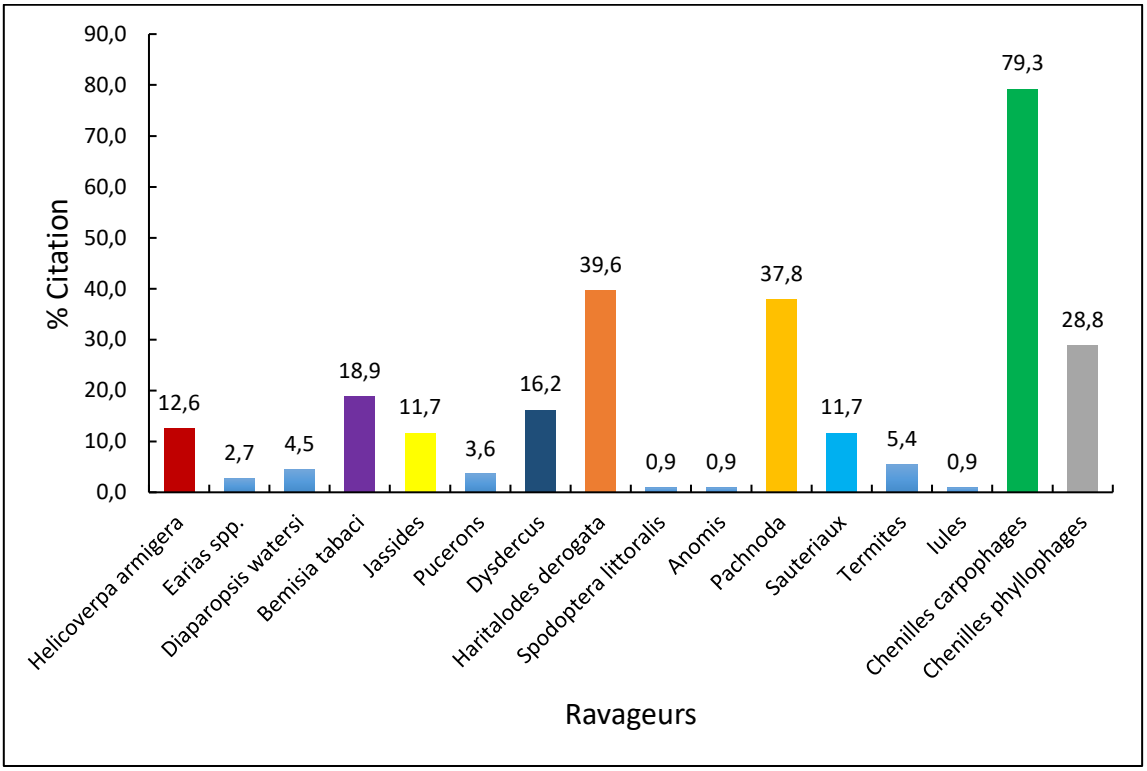


Figure 14. Pourcentage de citation des déprédateurs ou groupes de ravageurs du coton

**III.3.3. Perception des producteurs de coton bio sur l'utilisation des pesticides chimiques**

Le cotonnier étant une culture très appétée, les producteurs ont souvent recours aux produits chimiques pour lutter contre les insectes ravageurs et protéger ainsi leur production. Afin de connaitre les raisons pour lesquelles les producteurs enquêtés ont accepté de ne pas employer d'insecticides de synthèse, le questionnaire a été orienté afin de caractériser leur perception sur (i) les dangers induits par ces produits chimiques et (ii) les autres raisons éventuelles (Tableau 8). Dans la plupart des cas, les producteurs enquêtés (68%) sont conscients des dangers liés à l'utilisation des pesticides chimiques de synthèse. Dans les GIE de Koukoto et Missira, environ

50% des enquêtés pensent que les pesticides chimiques sont mauvais pour la santé des personnes et du bétail. Mieux, respectivement 16 et 12% des producteurs qui sont conscients des dangers ont aussi déclaré avoir eu des démangeaisons et de la fièvre après des traitements réalisés avec ces produits de synthèse. Peu de producteurs (2%) ont mis en exergue les effets néfastes des pesticides chimiques sur l'environnement. Environ 12% des producteurs ont choisi la culture biologique à cause de la cherté des intrants chimiques et 20% l'ont adoptée seulement à la suite des recommandations de la société cotonnière.

Tableau 8. Répartition des producteurs suivant les raisons motivant leur adoption de la culture du coton bio

| GIE enquêté | Dangers liés à l'utilisation des pesticides chimiques | | | | Cherté des intrants/ remboursement difficile | Recommandations par la SODEFITEX | Effectif total |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Mauvais pour la santé de la famille et du bétail | Démangeaisons et fièvre après traitement avec les produits chimiques | Incident pendant la pulvérisation au champ | Pollution de l'environnement | | | |
| | % | % | % | % | % | % | |
| Koukoto | 50,7 | 15,9 | 1,4 | 2,9 | 8,7 | 20,3 | **69** |
| Missira | 50,0 | 11,9 | 2,4 | 0,0 | 16,7 | 19,0 | **42** |
| **Total** | **50,5** | **14,4** | **1,8** | **1,8** | **11,7** | **19,8** | **111** |

### III.3.4. Espèces végétales utilisées, techniques de préparation des extraits de plantes et résultats observés par les producteurs de coton bio

L'exploitation des données d'enquête a permis d'identifier 5 espèces de plantes utilisées (Figure 15) pour lutter contre les ravageurs dans la culture de coton biologique au niveau de la zone d'étude : *Azadirachta indica* (neem), *Boscia senegalensis, Guiera senegalensis, Khaya senegalensis, Piliostigma reticulatum.* Ces espèces appartiennent à 4 familles botaniques (Tableau 9). Les espèces les plus souvent mentionnées par les producteurs sont : *Azadirachta indica* (98%) et *Piliostigma reticulatum* (60%). Toutes les plantes citées sont locales et accessibles comme le confirment les producteurs. Elles se trouvent aux alentours des villages (*Boscia senegalensis, Piliostigma reticulatum, Guiera senegalensis*), au sein des villages (*Khaya senegalensis, Piliostigma reticulatum, Azadirachta indica)* et dans les maisons *(Azadirachta indica).*

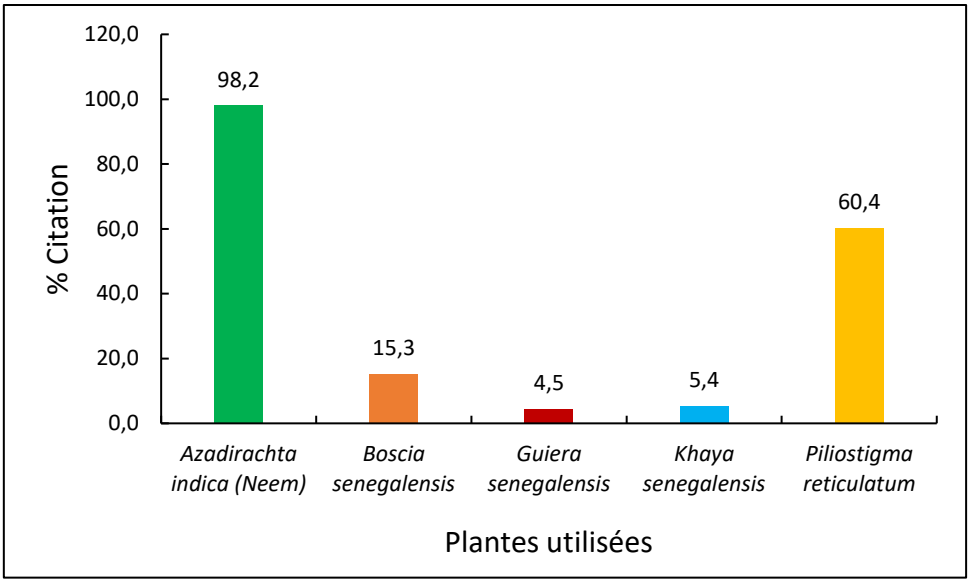


Figure 15. Pourcentage de citation des espèces de plantes utilisées par les producteurs dans la lutte contre les insectes ravageurs du cotonnier

Dans le tableau 9 sont répertoriés les plantes et les modes de préparations dont les producteurs du GIE Koukoto et du GIE Missira font usage pour lutter contre les attaques des insectes ravageurs du cotonnier.

Selon les données de l'enquête, la répartition des producteurs échantillonnés montre qu'un taux de 90% a bénéficié d'une formation sur les techniques de préparation des extraits à base de plantes. Les formations sont dispensées par la SODEFITEX.

Les feuilles et les graines de neem, les feuilles de *B. senegalensis*, *G. senegalensis*, *K. senegalensis*, *P. reticulatum* et l'ajout de fumier (de bovins, ovins, caprins) sont les principales matières utilisées pour la préparation des extraits de plantes à des doses qui varient suivant les producteurs. Les poids de matières fraiches utilisées sont très variables et peuvent être estimés entre 3 et 15 Kg pour différents volumes d'eau. Dans la majorité des cas, les plantes sont associées entrent elles pour préparer ces extraits. La principale modalité de préparation des extraits de plantes est la macération aqueuse (Tableau 9).

La quantité nécessaire pour le traitement est de 16 L/ 0,5 ha et le nombre d'application varie entre 4 et 20 (Tableau 9).

Tableau 9. Plantes et modes de préparations des extraits chez les producteurs de coton bio

| Espèces | Famille | Nom local | Partie utilisée |
|---|---|---|---|
| *Azadirachta indica* | Meliaceae | Neem | Feuilles, graines |
| *Boscia senegalensis* | Capparaceae | Ndiandam | Feuilles |
| *Guiera senegalensis* | Combretaceae | Nger | Feuilles |
| *Khaya senegalensis* | Meliaceae | Hay | Feuilles |
| *Piliostigma reticulatum* | Caesalpiniaceae | Nguiguiss | Feuilles |

**Mode de préparation**

**Extrait de Neem**

-3 à 10 Kg de feuilles de neem broyées ou découpées + ail + piment + savon liquide + 3 à 5 Kg de bouse de chèvre, de cheval, de vache ou de mouton enveloppée dans un sac (avec de petits trous) + 10 à 100 L d'eau ; laisser macérer à l'ombre pendant 1 semaine à 15 jours dans une barrique hermétiquement fermée (Figure 27); ensuite prélever la quantité nécessaire pour un traitement et filtrer avec un tamis ou un morceau de tissu ; à chaque prélèvement, ajouter la même quantité d'eau dans la barrique.

-3 à 10 Kg de graines de neem broyées + 3 à 5 Kg de bouse de chèvre, de cheval, de vache ou de mouton enveloppée dans un sac (avec de petits trous) + 10 à 60 L d'eau ; laisser macérer à l'ombre pendant 1 semaine à 15 jours dans une barrique hermétiquement fermée ; ensuite prélever la quantité nécessaire pour un traitement et filtrer avec un tamis ou un morceau de tissu ; à chaque prélèvement, ajouter la même quantité d'eau dans la barrique.

**Extraits de Neem + *Piliostigma***

5 à 15 Kg de feuilles de neem broyées ou découpées et/ou 2 à 5 kg de graines de neem broyées + 4 à 15 kg de feuilles de *Piliostigma* broyées ou découpées + 3 à 5 Kg de bouse de chèvre, de cheval, de vache ou de mouton enveloppée dans un sac (avec de petits trous) + 100 L eau ; laisser macérer à l'ombre pendant 1 semaine à 15 jours dans une barrique hermétiquement fermée ; ensuite prélever la quantité nécessaire pour un traitement et filtrer avec un tamis ou un morceau de tissu ; à chaque prélèvement, ajouter la même quantité d'eau dans la barrique.

**Extraits de Neem + *Boscia***

3 à 7 Kg de feuilles de neem broyées ou découpées et/ou 2 à 5 kg de graines de neem broyées + 3 à 7 kg de feuilles de *Boscia* broyées ou découpées + 3 à 5 Kg de bouse de chèvre, de cheval, de vache ou de mouton enveloppée dans un sac (avec de petits trous) + 10 à 90 L d'eau ; laisser macérer à l'ombre pendant 1 semaine à 15 jours dans une barrique hermétiquement fermée ; ensuite prélever la quantité nécessaire pour un traitement et filtrer avec un tamis ou un morceau de tissu ; à chaque prélèvement, ajouter la même quantité d'eau dans la barrique.

**Extraits de Neem + *Piliostigma* + *Boscia***

3 à 10 Kg de feuilles de neem broyées ou découpées et/ou 3 à 5 kg de graines de neem broyées + 3 à 10 Kg de feuilles de *Piliostigma* broyées ou découpées + 3 à 10 kg de feuilles de *Boscia* broyées ou découpées + 3 à 5 Kg de bouse de chèvre, de cheval, de vache ou de mouton enveloppée dans un sac (avec de petits trous) + 90 L d'eau ; laisser macérer à l'ombre

pendant 15 jours dans une barrique hermétiquement fermée ; ensuite prélever la quantité nécessaire pour un traitement et filtrer avec un tamis ou un morceau de tissu.

**Extraits de Neem + *Piliostigma* + *Khaya***

Feuilles de neem broyées ou découpées + feuilles de *Piliostigma* broyées ou découpées + feuilles de *Khaya* broyées ou découpées + compost liquide ou bouse de vache (ou de mouton) enveloppée dans un sac (avec de petits trous) + eau ; laisser macérer à l'ombre pendant 21 jours dans une barrique hermétiquement fermée ; ensuite prélever la quantité nécessaire pour un traitement et filtrer avec un tamis ou un morceau de tissu.

**Extraits de Neem + *Piliostigma* + *Guiera***

2 à 3 Kg de feuilles de neem broyées ou découpées + 2 à 3 Kg de feuilles de *Piliostigma* broyées ou découpées + 2 à 3 kg de feuilles de *Guiera* broyées ou découpées + 2 Kg de bouse de chèvre, de cheval, de vache ou de mouton enveloppée dans un sac à maille + 30 à 40 L d'eau ; laisser macérer à l'ombre pendant 1 semaine à 15 jours dans une barrique hermétiquement fermée ; ensuite prélever la quantité nécessaire pour un traitement et filtrer avec un tamis ou un morceau de tissu ; à chaque prélèvement, ajouter la même quantité d'eau dans la barrique.

**Extraits de Neem + *Piliostigma* + *Boscia* + *Guiera***

Feuilles de neem découpées + feuilles de *Piliostigma* découpées + feuilles de *Boscia* découpées + feuilles de *Guiera* découpées + bouse de chèvre enveloppée dans un sac (avec de petits trous) + 90 à 150 L d'eau ; laisser macérer à l'ombre pendant 1 semaine à 20 jours dans une barrique hermétiquement fermée ; ensuite prélever la quantité nécessaire pour un traitement et filtrer avec un tamis ou un morceau de tissu.

**Mode de traitement**

-Dose ou quantité : 16 L / 0,5 ha

-Le filtrat peut être dilué si c'est trop concentré

-Intervalle de traitement : 7 à 15 jours ou sur seuil selon le producteur

-Le traitement se fait avec un pulvérisateur à dos (Matabi) (Figure 17)

-Les traitements débutent entre 15 à 36 jours après la levée. Ils s'arrêtent au moment où les capsules sont dures ou après éclatement de celles-ci.

-Nombre de traitements : 4 à 20

Une baisse des infestations après traitements avec les extraits de plantes est signalée par plus de la moitié des producteurs (56 %). Environ 20% d'entre eux indiquent un effet insecticide par la mort des insectes, surtout des chenilles, tandis que 16% décrivent des effets répulsifs (fuite des insectes). Une durée d'action courte variable entre 3 et 7 jours et une efficacité moyenne ont été mentionnées par 4% et 5% des producteurs, respectivement. Les producteurs ont

également remarqué un bon développement végétatif des plants de cotonniers grâce aux traitements avec les solutions préparées.

Figure 16. Barrique utilisé par les producteurs pour la préparation des extraits botaniques

Figure 17. Producteurs avec pulvérisateur de type Matabi

**III.4. Discussion**

L'enquête dans la région de Kaffrine à travers les deux GIE de Koukoto et Missira a permis d'identifier la classe d'âge prédominante des producteurs de coton bio. Elle se situe entre 41 et 50 ans. Le genre masculin est majoritaire parmi les personnes enquêtées (76,6%) contre 23,4% pour le genre féminin. Cette forte proportion des hommes s'expliquerait par le fait que les travaux au niveau des champs de coton, tout comme pour tous les travaux champêtres en général, demandent beaucoup d'efforts physiques (Mondédji et al., 2015). En outre, en Afrique subsaharienne tout comme dans l'ouest du Kenya, comme le relèvent Midega et al. (2012), la culture du cotonnier est une culture de rente qui est plus souvent considérée comme devant relever du genre masculin.

Dans la région considérée dans cette étude environ 29% des producteurs déclarent le coton comme leur principale culture tandis que la majorité d'entre eux (74,8%) cultivent davantage le mil, le maïs, le sorgho et l'arachide. Cette tendance est peut-être due au fait que les céréales sont plus faciles à cultiver que le cotonnier et qu'étant des cultures vivrières, elles permettent aux paysans de les utiliser directement pour la consommation. Les groupements de producteurs enquêtés reçoivent des formations organisées par la société cotonnière (SODEFITEX).

La majorité des producteurs interrogés sont de petits producteurs, avec des parcelles variantes entre 0,5 et 1 ha. Ces superficies sont proches de celles trouvées par Midega et al. (2012) qui variaient entre 0,4 et 1 ha au Kenya. Cependant, en dépit des nombreuses années de cultures

variant entre 1 et 17 ans, les productions sont relativement faibles (3 à 600 kg). Au cours de l'enquête, la plupart des producteurs ont expliqué que les faibles taux de productions de coton graine sont obtenus durant ces dernières années. En effet, les tendances suivent celles des filières coton nationales, celles d'une chute drastique des indicateurs de la production à savoir les surfaces, les rendements et le nombre de producteurs déjà rapportée il y a plus de 10 ans (FIRCA, 2009).

Les principales contraintes concernant la production à laquelle font face les producteurs sont la pression exercée par les ravageurs, la pauvreté des sols, l'enherbement et le manque de moyens techniques. La majorité des producteurs (87%) ont révélé que les insectes nuisibles représentent le principal obstacle de la production cotonnière dans la zone. Concernant l'identification de ces insectes nuisibles, la plupart des producteurs interrogés ne connaissaient pas leur nom exact. Ces résultats sont similaires à ceux de Sinzogan et al. (2004) au Bénin où les agriculteurs utilisent des noms descriptifs plutôt que des noms spécifiques. Le manque de connaissances de certains paysans sur l'identification des insectes ravageurs souligne la nécessité d'une formation qui leur permettre de comprendre la biologie et le comportement des principaux déprédateurs et de leurs ennemis naturels pour leur permettre de les gérer efficacement. La chenille *Helicoverpa armigera* (Hubner) (Lepidoptera : Noctuidae) a été mentionnée avec davantage de précision, par son nom local "gildi" rapporté par 12,6 % des producteurs. Cette noctuelle est signalée dans tous les villages enquêtés. Les autres principaux ravageurs décrits ainsi par les paysans sont la chenille enrouleuse (*H. derogata*), le coléoptère *Pachnoda* et les autres espèces de chenilles carpophages. Les insectes nuisibles sont essentiellement indiqués par les producteurs à travers leurs dégâts et la gravité des dommages que ces déprédateurs engendrent. En effet, 31% des producteurs affirment que la punaise rouge *Dysdercus* sp. est la principale cause de la mauvaise qualité du coton. Ces résultats correspondent à ceux d'autres études qui ont identifié ces différents insectes comme faisant partie des principaux ravageurs du cotonnier dans différents endroits du monde notamment en Afrique de l'Ouest (Badiane et al., 2015 ; Renou et Brévault, 2016 ; Brévault et al., 2019). Selon Midega et al. (2012), les insectes nuisibles sont considérés comme l'une des contraintes biotiques les plus importantes dans toutes les régions où le coton est cultivé et leur gestion représente facilement au moins 30 % du coût total de la production.

Pour lutter contre ces déprédateurs, les producteurs enquêtés utilisent des extraits botaniques qu'ils préparent eux-mêmes. Le choix des extraits à base de plantes dépend de plusieurs facteurs : la cherté des intrants 'conventionnels' (le prix d'un litre d'insecticide varie entre 4562 à 10730 FCFA selon le produit et le coût du paquet technique est de 109448 FCFA par Ha en

2018) et les recommandations données par la société cotonnière soutenues par des formations. Il est également lié aux effets toxiques des pesticides chimiques de synthèse vécus par bon nombre des producteurs qui évoquent, le plus souvent après les pulvérisations au champ, des sensations de brûlure ou de démangeaisons au visage et aux mains, des maux de tête et de la fièvre. Cette situation concorde avec celle d'une étude réalisée à Vélingara, dans la zone cotonnière du Sénégal, où 75% des producteurs interrogés affirment être conscients des risques liés à l'épandage des pesticides (Thiam et Sagna, 2009). Une étude d'OBEPAP (2006) indiquait que des cotonculteurs de Kobé Dani et Okéowo au Bénin perçoivent bien les problèmes environnementaux liés à l'utilisation des produits chimiques agricoles**.** En outre, les recommandations de la SODEFITEX sont essentiellement liées au fait que dans cette zone les productions sont devenues trop faibles par rapport aux coûts du programme de protection vulgarisé dans le bassin cotonnier.

À part les connaissances qu'ont les producteurs de ces dangers, ils savent que des extraits de plantes (graines et feuilles de neem, feuilles de *Piliostigma, Boscia* etc.) peuvent être utilisés pour traiter les cotonniers contre les ravageurs avec un effet positif. Effectivement, 92% des producteurs de coton biologique déclarent soit une baisse des infestations, soit la mort ou la fuite des insectes après traitements avec les extraits botaniques. Comme dans la plupart des pays où la culture du coton bio est développée, la principale plante utilisée est le neem, une plante pérenne et accessible dont les multiples vertus ont fait l'objet de très nombreuses études. Les propriétés acaricides et insecticides des formulations biopesticides à base de neem ont été évaluées sur plusieurs arthropodes causant des dommages économiques importants comme le puceron vert du pêcher, *Myzus persicae*, l'aleurode des serres (*Bemisia tabaci*) et le thrips des petits fruits en laboratoire et en serre (Belanger & Musabyimana, 2008). Les propriétés insecticides du neem ont été également testés en plein champ au Sénégal sur le cotonnier contre les piqueurs suceurs, les chenilles carpophages et les chenilles phyllophages (Sané et al., 2018). Les produits dérivés du neem peuvent contribuer au développement durable et à la résolution des problèmes de lutte contre les nuisibles des plantes. Ces produits bénéficient des propriétés naturelles du neem en tant que puissant régulateur de croissance des insectes qui affecte également de nombreux autres organismes (nématodes et champignons). Ils peuvent aussi servir de fertilisants pour les plantes (Campos et al., 2016). Le neem fournit un paradigme moderne pour le développement des insecticides botaniques, et de nombreuses leçons tirées du neem au cours de la dernière décennie peuvent être appliquées au développement des futurs extraits de plantes (Isman et al., 1997).

Les autres espèces végétales sont également reconnues comme ayant des vertus insecticides dans des études menées au Sénégal. Dans ce cadre les travaux de Guèye et al. (2011) ont montré que *Boscia senegalensis* est efficace contre les bruches *Callosobruchus maculatus* et *C. serratus*. Les extraits de cette plante exercent également une activité biocide puissante sur les autres principaux ravageurs des stocks de céréales et légumineuses rencontrés au Sénégal**.** Quant à l'arbuste indigène *P. reticulatum,* elle est davantage connue pour ses propriétés fertilisantes. Les travaux de Hernandez et al. (2015) dans une plantation de mangue à Thiès (Sénégal) ont montré que *P. reticulatum* améliore le fonctionnement biologique du sol et qu'il existe un effet synergique entre la culture et l'espèce dans la qualité du sol avec un plus grand potentiel de décomposition et de minéralisation des nutriments. Les différentes parties de cette plante, feuilles, fruits, écorce et racines, sont également très utilisées en pharmacopée traditionnelle grâce à ses propriétés spasmolytiques et antibactériennes (Yelemou et al., 2007 ; N'Guessan et al., 2015).

### III.5. Conclusion

Les producteurs de coton bio restent confrontés à une forte pression des insectes ravageurs. Ils utilisent principalement les extraits d'*Azadirachta indica* (neem) et de *Piliostigma reticulatum* (nguiguiss) pour lutter contre ces nuisibles. Cependant, les techniques de fabrication des extraits de plantes doivent être modernisées pour les producteurs de coton. En outre, les gouvernements dans leurs politiques agricoles doivent se baser sur l'amélioration à l'accessibilité aux biopesticides à travers les subventions et les crédits aux producteurs. Le renforcement des capacités des femmes s'impose également en termes d'activité génératrice de revenus pour faire face aux coûts des biopesticides. De manière générale, les producteurs de coton bio souhaitent bénéficier de plus de formations et avoir un appui en matériel agricole pour mieux entretenir leur culture.

# CHAPITRE IV : EVOLUTION DES POPULATIONS DE CHENILLES DE *HELICOVERPA ARMIGERA* AU NIVEAU DU BASSIN COTONNIER DU SENEGAL DE 2015 A 2017

## IV.1. Introduction

La chenille *Helicoverpa armigera* est polyphage et infeste en particulier les cultures maraîchères, les céréales et les plantes spontanées. Elle est attirée par les cotonniers lors de la phase de formation des boutons floraux et de la floraison. Ce ravageur a une grande mobilité, il peut se déplacer sur plusieurs centaines de kilomètres (Feng et al., 2009) ou sur de courtes distances de l'ordre de quelques kilomètres (Lu et Baker, 2013).

La connaissance de la biologie et de l'écologie d'un ravageur constitue l'une des premières approches dans la conception d'une méthode de lutte. La dynamique des populations est une des composantes biologiques qui permet d'évaluer la croissance d'une population sur une période donnée. Ainsi, cette étude a pour objectif de suivre au niveau du bassin cotonnier de Sénégal, l'évolution spatio-temporelle (dynamiques saisonnière, annuelle et géographique) des populations larvaires du lépidoptère carpophage *H. armigera* afin de déterminer les périodes d'apparition et de pullulation en vue d'actualiser son statut et d'améliorer les stratégies de lutte dans chaque grande zone de production.

## IV.2. Méthodologie

Le cotonnier est le matériel végétal utilisé.

Sur les AMEX de Koussanar, Vélingara et Syllacounda ont été installées des parcelles d'essais durant trois (03) ans en 2015, 2016 et 2017. Ces parcelles comprennent plusieurs objets en comparaison : des parcelles témoins non traitées, des parcelles recevant des produits chimiques et des parcelles traitées avec des extraits de plantes. Les objets sont mis en place selon un dispositif en bloc de Fisher avec quatre (04) répétitions. Les parcelles élémentaires sont composées de 08 lignes de 10 m. L'échantillonnage pour suivre la dynamique des chenilles de *H. armigera* pendant les campagnes agricoles de 2015 à 2017 a été réalisé sur les parcelles non traitées. Le dénombrement des chenilles (tous stades confondus) a été effectué de façon hebdomadaire sur 30 plants par parcelle élémentaire pris par groupe de 5 plants de façon consécutive sur les 6 lignes centrales, selon la méthode de la diagonale du 30$^{ème}$ au 122$^{ème}$ jour après levée (JAL) des cotonniers.

À partir des données brutes obtenues sur le terrain, le nombre moyen des chenilles sur 30 plants sur les parcelles non traitées est calculé et la tendance évolutive du ravageur est déterminée

durant la campagne et en fonction de la phénologie du cotonnier en utilisant le tableur EXCEL 2013.

### IV.3. Résultats

Les évolutions saisonnières du nombre moyen de chenilles sur 30 plants, dans les parcelles non traitées trouvées à chaque prélèvement dans les 3 localités correspondant aux zones agroécologiques sont représentées dans les Figures 29, 30 et 31. L'analyse des graphes établis pour les zones de Koussanar, Vélingara et Syllacounda, permet de distinguer au moins une période de fortes infestations au cours de chaque campagne.

Les données pluviométriques ont révélé qu'au cours de cette étude, les précipitations sont plus élevées et plus fréquentes à Syllacounda puis à Vélingara et d'une moindre importance à Koussanar. L'analyse de l'évolution des infestations de chenilles de *H. armigera* en fonction de la pluviométrie révèle que les périodes de fortes pullulations apparaissent pendant les périodes de faibles précipitations.

#### IV.3.1. Dynamique des populations de chenilles de *Helicoverpa armigera* à Koussanar (zone sèche)

À Koussanar, en zone sèche, les périodes d'infestation s'étalent de septembre à octobre avec un pic dans la première quinzaine du mois d'octobre en 2015 et 2016 et dans la deuxième décade du mois de septembre en 2017 (Figure 18). Durant la campagne 2015, les chenilles sont apparues début septembre (44$^{ème}$ JAL) puis leur nombre augmente progressivement pour atteindre un pic de 3,5 chenilles / 30 plants début octobre (72$^{ème}$ JAL) avant de diminuer d'intensité vers la fin du mois (93$^{ème}$ JAL). En 2016, le ravageur est observé fin septembre (44$^{ème}$ JAL) avec une forte intensité d'environ 5 chenilles pour atteindre son maximum (6,5 chenilles / 30 plants) le 10 octobre (51$^{ème}$ JAL). Une baisse progressive du niveau d'infestation est constatée jusqu'en fin octobre. Pour la campagne 2017, la présence des chenilles de *H. armigera* a été relativement faible avec un pic (1,75 chenille / 30 plants) qui se trouve bien en dessous du seuil d'intervention (3 chenilles / 30 plants).

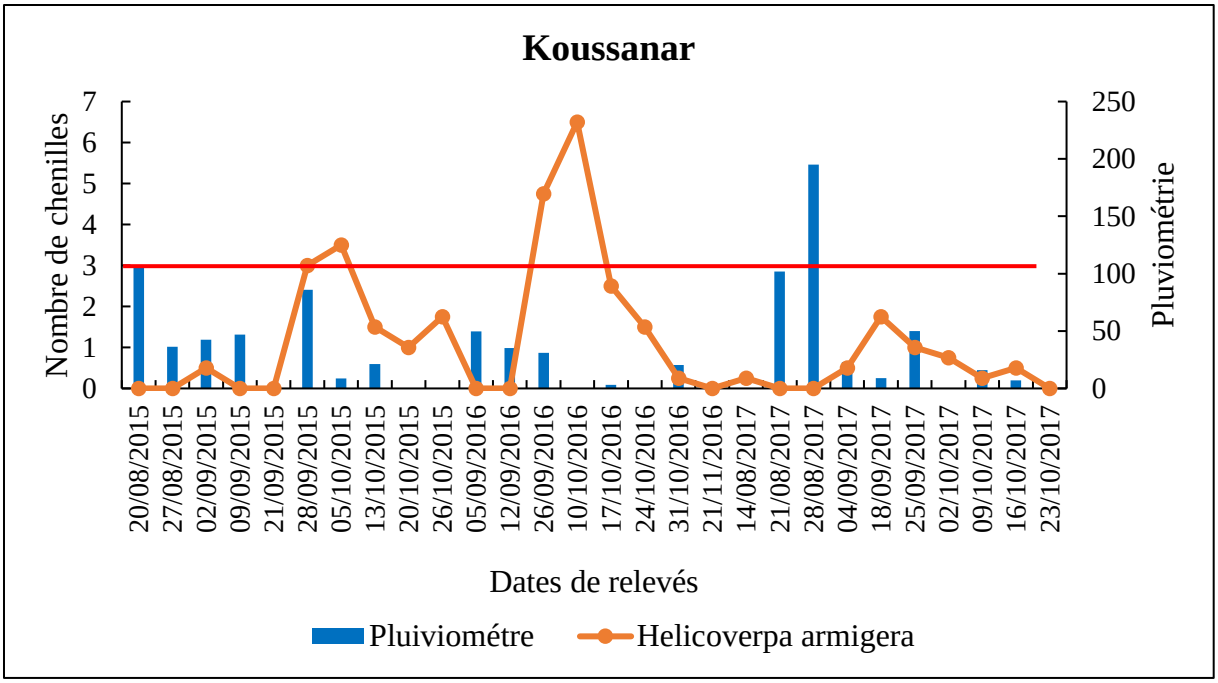


Figure 18. Variations saisonnières du niveau d'infestation des chenilles de *Helicoverpa armigera* de 2015 à 2017 à Koussanar (zone sèche) sur des cotonniers non traités

### IV.3.2. Dynamique des populations de chenilles de *Helicoverpa armigera* à Vélingara (zone médiane)

À Vélingara (zone médiane), les infestations de *H. armigera* s'étalent sur la même période en 2015 qu'en 2016 sauf en 2017 (août-septembre). Les pics d'infestation sont observés mi-septembre, début octobre et fin octobre. La courbe d'évolution établie pour cette localité (Figure 19) montre que la pression des chenilles, forte en 2015, a diminué graduellement jusqu'en 2017. En effet durant la campagne 2015, trois pics d'infestation variant de 3 à 8 chenilles / 30 plants ont été relevés. Ils sont situés respectivement en mi-septembre, début et fin octobre. En 2016 et 2017, les pics sont respectivement de 2,5 en début octobre et 1,5 chenilles / 30 plants en début septembre.

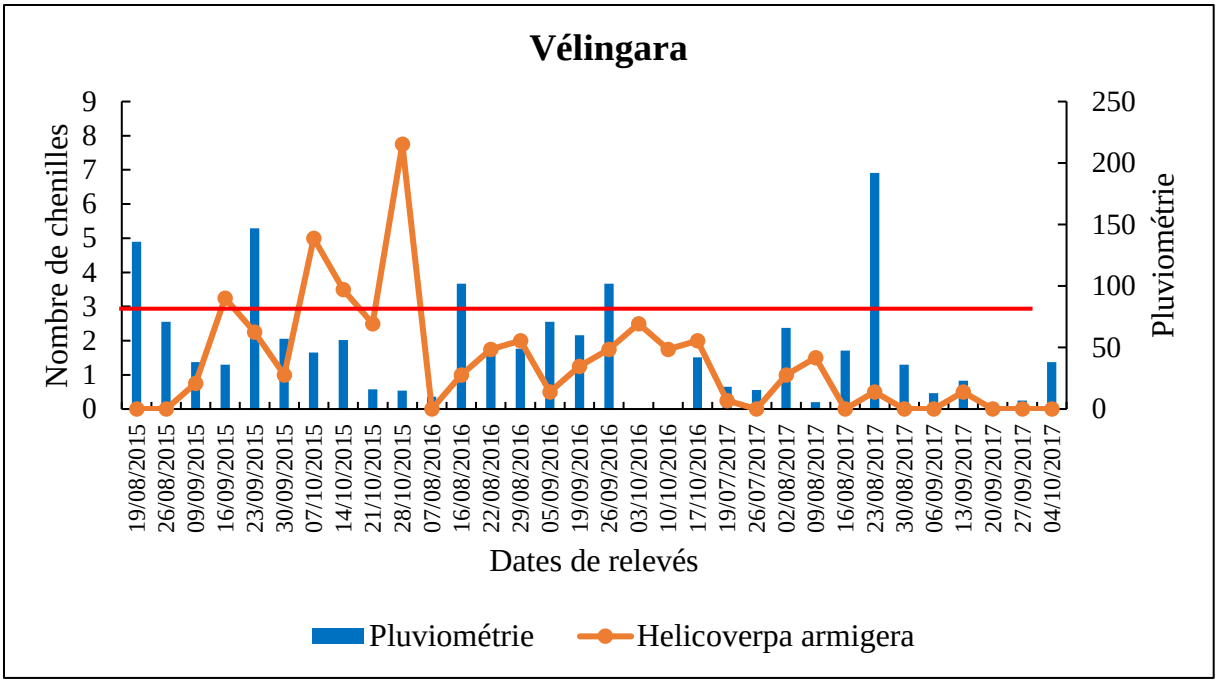


Figure 19. Variations saisonnières du niveau d'infestation des chenilles de *Helicoverpa armigera* de 2015 à 2017 à Vélingara (zone médiane) sur des cotonniers non traités

### IV.3.3. Dynamique des populations de chenilles de *Helicoverpa armigera* à Syllacounda (zone humide)

Dans la localité de Syllacounda (zone humide), la présence des chenilles est constatée de septembre à novembre en 2015 et d'août à octobre en 2016 et 2017 (Figure 20). Les pics d'infestation sont situés dans le mois de septembre ou octobre selon la campagne. En 2015, les premières chenilles sont apparues dans les parcelles dans la troisième décade du mois de septembre avec un pic d'environ 5 chenilles qui s'est maintenu jusqu'au 20 octobre avant de disparaitre en début novembre. La campagne 2016 présente un niveau d'infestation particulièrement faible avec un pic de 1,5 chenilles / 30 plants. Pour 2017, les infestations initialement faibles en août ont augmenté graduellement et atteint leur maximum en octobre. Le niveau maximum est de 4 chenilles / 30 plants.

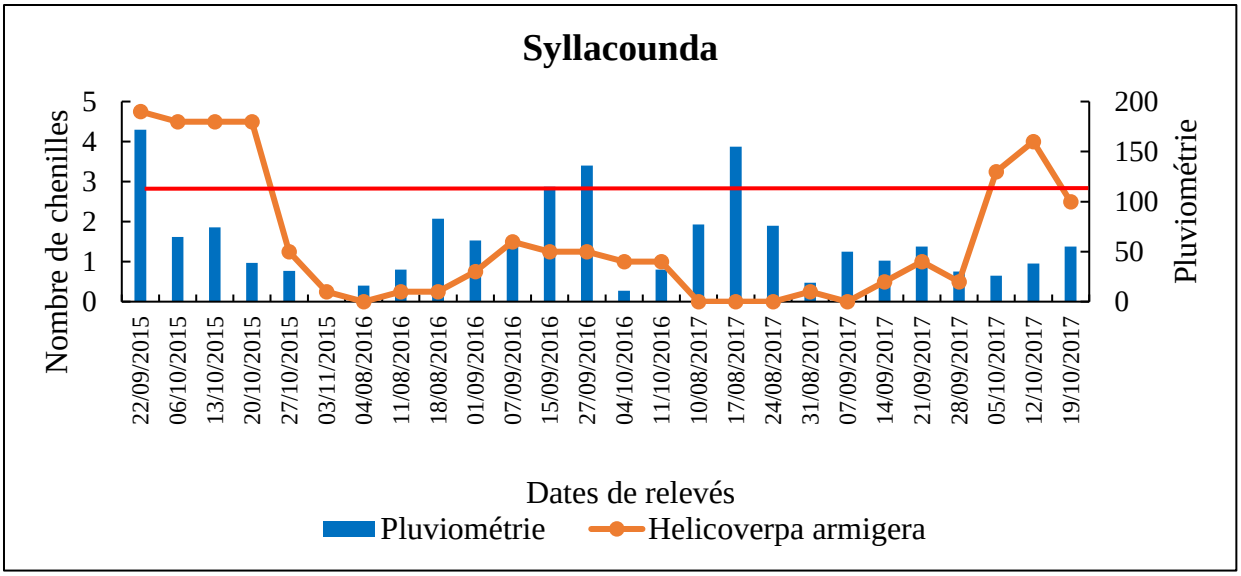


Figure 20. Variations saisonnières du niveau d'infestation des chenilles de *Helicoverpa armigera* de 2015 à 2017 à Syllacounda (zone humide) sur des cotonniers non traités

**IV.4. Discussion**

Le suivi des chenilles de *Helicoverpa armigera* dans nos conditions d'expérimentation ont permis de constater les périodes de pullulation au cours de la campagne. Sur les trois années de suivi, il est apparu qu'entre le mois de septembre et d'octobre, il y a une grande population de larves de *H. armigera* dans les champs de cotonniers. Les plus importants pics de chenilles sont observés en mi-septembre et octobre dans la sous-région Ouest Africaine (PR-PICA, 2017 ; PR-PICA, 2018). Ces résultats corroborent également ceux de Ochou et al. (2019) qui avaient identifiés que les infestations larvaires de *H. armigera* sont plus importantes en septembre et octobre, traduisant une forte relation entre les évolutions des populations et la phénologie du cotonnier. Cette période correspond en effet à la phase reproductive des plants de cotonniers au niveau des parcelles d'expérimentation. Les parcelles de cotonnier, à ces dates, seraient propices à l'apparition et à la multiplication du ravageur. En effet, les chenilles de la noctuelle sont plus fortement attirées par la plante-hôte présentant des organes fructifères (fleurs, capsules, boutons floraux) pour leur alimentation tout comme observé chez d'autres chenilles carpophages (Ochou et al., 2018b). Selon Adje et al. (2009), *H. armigera* est un ravageur dont la présence est surtout remarquée au moment de la floraison et à la phase de fructification. Ainsi, les fluctuations des populations de *H. armigera* seraient à corréler avec les facteurs trophiques. Toutefois l'importance des infestations larvaires varient d'un site à un autre et d'une année à une autre. Ce phénomène peut s'expliquer par les facteurs qui régulent leur population. En effet plusieurs facteurs sont susceptibles d'affecter la population de chenilles du ravageur au niveau des champs de cotonniers dans les différentes zones de production. Les résultats ont

révélé que les périodes de fortes pluies sont défavorables à un accroissement du nombre de chenilles de *H. armigera*. Le site de Koussanar, situé dans la zone sèche montre une faible répartition de la pluviométrie surtout en 2016 où la pression du ravageur a été plus élevée. A Vélingara (zone médiane) et à Syllacounda (zone humide), les fortes infestations ont surtout lieu durant les périodes de faibles précipitations au cours de chaque campagne. Les pluies semblent jouer un rôle dépréciatif sur les populations de *H. armigera*. Les perturbations climatiques, caractérisées par des pluies à faible intensité seraient favorables au développement de la noctuelle. Les conditions favorables sont représentées par des semis tardifs, une baisse des pluies et un fort ensoleillement (PR-PICA, 2019c). L'effet de la pluviométrie sur la dynamique des populations a déjà été observé chez d'autres insectes (Koné et al., 2017 ; Hameed et al., 2014). Plusieurs auteurs tels que Gnankiné et al. (2007) ont rapporté que la rareté des pluies favorise l'accroissement des effectifs de *Bemisia tabaci* dans les champs de cotonniers. Selon Amoukou et al. (2013), la variation très marquée de la fréquence des larves du Lépidoptère *Antigastra catalaunalis* sur la culture du sésame montre que ces dernières apparaissent en nombre très important aux périodes de faible pluviométrie et inversement. Les travaux de Fanou et al. (2014), sur la cochenille *Dysmicoccus brevipes* a montré que les fortes gouttes d'eau sur les parties aériennes des plants lessivent les cochenilles et par conséquent réduisent leur population. La forte pluviosité contribuerait à maintenir les populations de ravageurs dans des limites économiquement acceptables. Outre les facteurs climatiques, d'autres facteurs, notamment la présence d'ennemis naturels peuvent être à l'origine des fluctuations cycliques des populations de plusieurs insectes. Ces ennemis naturels peuvent varier d'une région à l'autre, car influencés eux-mêmes par les conditions climatiques (N'Guessan et al., 2014).

### IV.5. Conclusion

Les résultats de l'étude de la dynamique des populations larvaires de *H. armigera* dans le bassin cotonnier du Sénégal ont révélé deux périodes de fortes pullulations au cours de la campagne du coton. Ces périodes coïncident avec le mois de septembre et celui d'octobre avec des pics variant entre 1,5 et 8 chenilles sur 30 plants en fonction de la zone et de l'année. Ces résultats peuvent être utiles pour les prises de décision vis-à-vis des interventions phytosanitaires contre les larves de ce déprédateur. En effet, les périodes de fortes attaques pourraient être prises en compte pour toute application rationnelle d'insecticide. Il serait important de suivre l'évolution des populations adultes et larvaires des principaux ravageurs du cotonnier dans les zones de production et de mettre au point un système d'alerte permettant d'informer les différents acteurs sur l'évolution du parasitisme, pour leur permettre de réagir à temps.

# CHAPITRE V : EVALUATION DE L'EFFICACITE BIOLOGIQUE D'EXTRAITS DE PLANTES SUR *HELICOVERPA ARMIGERA*

## V.1. Efficacité des extraits aqueux de *Azadirachta indica* (neem), *Hyptis suaveolens* et *Anacardium occidentale* sur *Helicoverpa armigera*

### V.1.1. Objectif

Elle vise à évaluer, au champ, l'efficacité insecticide de deux concentrations (17% et 29%) d'extraits aqueux de feuilles de *A. indica* (neem), *Hyptis suaveolens* et *Anacardium occidentale* sur les larves de *Helicoverpa armigera* ainsi que d'évaluer la potentielle réduction de leurs dégâts sur les capsules de cotonniers.

### V.1.2. Matériel et méthodes

Pour mener cette étude, deux types de matériels ont été utilisés. Premièrement, du matériel physique constitué d'outils pour la collecte des données et des outils de travail agricole, et deuxièmement, du matériel biologique, végétal et animal. Une formulation chimique de référence a été utilisée comme témoin.

#### V.1.2.1. Matériel physique

Le matériel physique utilisé pendant l'essai est présenté dans le tableau ci-dessous.

Tableau 10. Liste du matériel physique et leurs utilisations

| **Matériel physique** | **Utilisations** |
|---|---|
| Ficelles, ruban mètre et piquets | Mise en place de l'essai (délimiter les parcelles) |
| Binettes, houe sine, corps butteur | Entretien cultural de l'essai |
| Plaques et plaquettes | Identification de l'essai et parcelles élémentaires |
| Fiches | Observations et mesures |
| Pulvérisateurs à dos à pression entretenue de type Matabi | Traitements insecticides des essais |

#### V.1.2.2. Matériel végétal

-Variété de coton cultivée :

La variété STAM129A a été utilisée au cours de notre étude. Elle appartient à l'espèce *Gossypium hirsutum*. Cette variété a été créée au Togo (ITRA/CRA-SH) à partir de STAMF-C560-T88-10-G103-1-h279-1. Elle a un port pyramidal à branches végétatives réduites et des capsules de taille moyenne portant un mucron fin et allongé et une belle ouverture stormproof (ITRA/CRA-SH., 1997). Elle présente les caractéristiques agronomiques suivantes :

productivité coton-graine 1261 kg/ha, rendement égrenage 44,4%, productivité fibre 560 kg/ha, précocité 70%.

- Espèces végétales expérimentées

Nous avons choisi de tester l'efficacité biologique des espèces *Azadirachta indica*, *Hyptis suaveolens* et *Anacardium occidentale*. Les critères de ce choix reposent sur leur disponibilité dans le bassin de production cotonnière, leur usage en pharmacopée traditionnelle locale et les résultats de recherche sur leurs activités biologiques connus dans d'autres contextes (PR-PICA, 2014). Les plantes étudiées ont été récoltées durant les campagnes agricoles couvrant l'étude. Seules les parties aériennes ont été utilisées.

**V.1.2.3. Matériel biologique**

L'évaluation de l'efficacité biologique de ces plantes a été réalisée sur des chenilles de *Helicoverpa armigera*. Les observations effectuées au champ ont porté sur l'ensemble des stades larvaires du ravageur.

**V.1.2.4. Formulation chimique de référence**

La caractérisation de la formulation chimique de référence qui a été employée dans les essais est précisée dans le tableau 11. L'insecticide utilisé est un produit binaire composé de deux matières actives : acétamipride 32 g/l et Cyperméthrine 56 g/l.

Tableau 11. Caractéristiques de la formulation utilisée (d'après British crop protection council, 2000-2001 ; Bayer CropScience 2013 ; SPIA, 2014 ; CSP, 2017)

| Nom commercial | Matière active | Famille chimique | Insectes cibles | Mode d'action | Dose l/ha |
|---|---|---|---|---|---|
| **CONQUEST C 88 EC** | **Acétamipride (32 g/l)** | Neonicotinoïdes | Pucerons<br>Thysanoptères<br>Piqueurs suceurs<br>Lépidoptères | Insecticide systémique avec une activité translaminaire. Agit par contact et ingestion. | 0 ,5 |
| | **Cyperméthrine (56 g/l)** | Pyréthrinoïdes | Lépidoptères<br>Coléoptères<br>Diptères<br>Hémiptères | Agit par contact et ingestion sur un grand nombre d'insectes à des doses très faibles. Il possède également un effet répulsif chez les adultes et un effet sur la nutrition des larves | |

### V.1.2.5. Dispositif expérimental

Les activités ont été conduites en milieu semi contrôlé dans les Antennes Multi locales d'Expérimentation (AMEX) de Dialacoto, Vélingara et Syllacounda. Les expérimentations ont été réalisées pendant les saisons des pluies des campagnes agricoles de 2015 et 2016, soit deux années consécutives.

Les cotonniers ont été disposés en blocs de Fischer à 4 répétitions (Figure 21). Chaque bloc est constitué de 8 parcelles élémentaires correspondant à 7 traitements et un témoin absolu (Non traité- NT). Chaque parcelle élémentaire (6,4 m x 10 m) est constituée de 8 lignes de 10 m. L'écartement entre les lignes est de 0,80 m et de 0,20 m entre les plants de mêmes lignes. La distance entre les blocs est de 2 m.

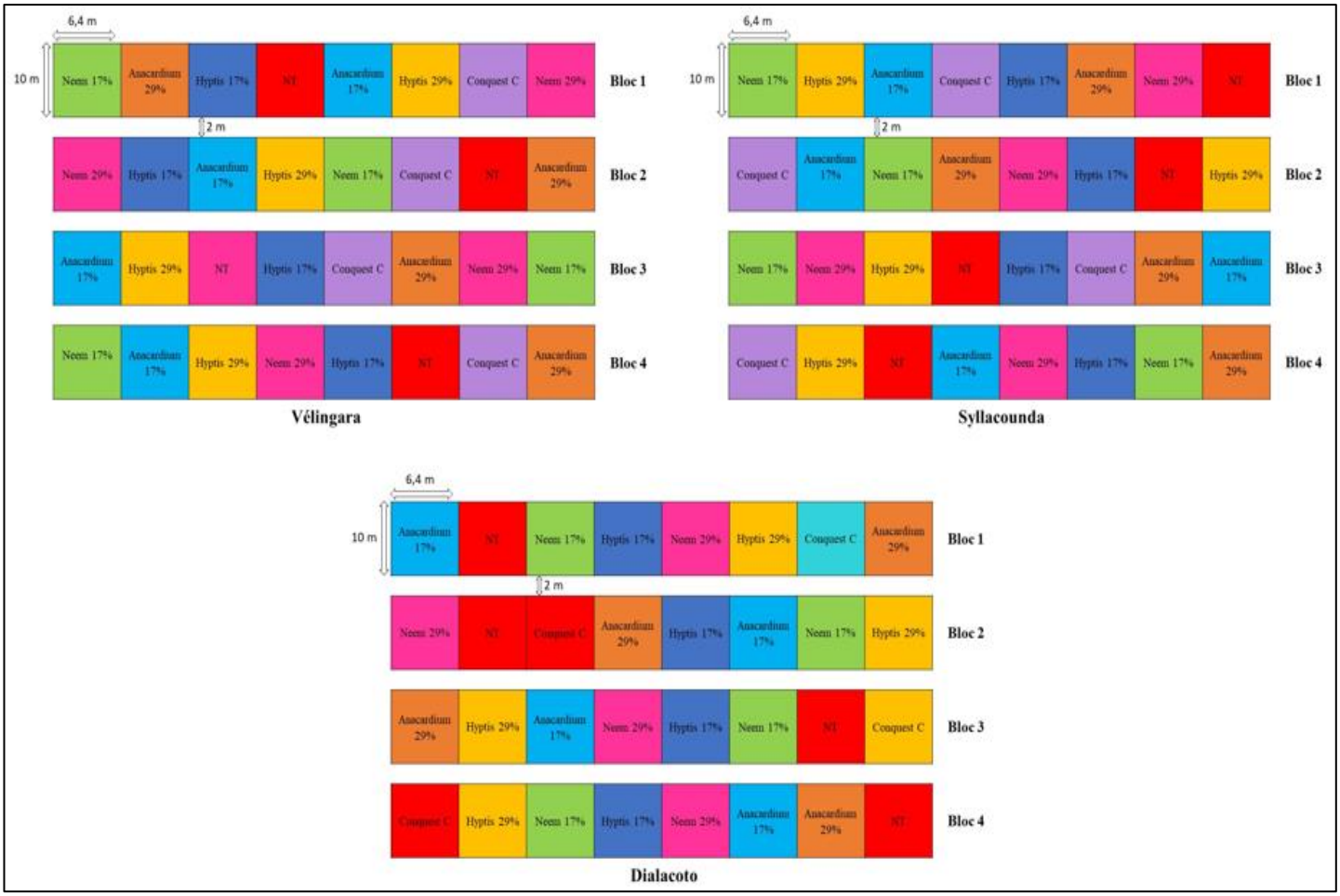


Figure 21. Dispositif expérimental mis en place dans les 3 sites

Huit traitements ont été comparés : un témoin non traité, un témoin traité avec un insecticide chimique et 6 traitements avec 2 concentrations différentes d'extraits des trois plantes. Le nombre de traitement peut varier d'un site à un autre ou d'une année à une autre à cause d'un retard de semis ou de fortes pluies durant les périodes de traitement.

Tableau 12. Objets en comparaison

| **Objets** | **Concentration ou dose** | **Quantité de produit à prélever pour chaque application sur l'ensemble des 4 répétitions (parcelle élémentaire de 48 m$^2$ x 4 répétitions = 192 m$^2$)** |
|---|---|---|
| Non traité | - | |
| CONQUEST C (Cyperméthrine+Acétamipride) | 56/32 g/l | 0,5 l/ha |
| Extrait de feuilles de neem | 17% | 1,5 litre |
| Extrait de feuilles de neem | 29% | 1,5 litre |
| Extrait de feuilles de Hyptis | 17% | 1,5 litre |
| Extrait de feuilles de Hyptis | 29% | 1,5 litre |
| Extrait de feuilles d'anacardier | 17% | 1,5 litre |
| Extrait de feuilles d'anacardier | 29% | 1,5 litre |

### V.1.2.6. Préparation des extraits aqueux des plantes expérimentées

Les extraits aqueux ont été obtenus à partir de feuilles de *Azadiarachta indica*, *Hyptis suaveolens* et *Anacardium occidentale.* Les feuilles fraiches de chaque plante ont été récoltées dans le centre zootechnique de kolda (ISRA/CRZ) le matin aux environs de 8 h, deux (2) jours avant chaque traitement. Elles sont finement broyées (fraiches, sans séchage préalable) dans un mortier. Le broyat de chaque plante est ensuite macéré dans de l'eau à raison de 1kg/4litres d'eau pendant 24h pour *A. indica* et *A. occidentale* et 12h pour *H. suaveolens* dans les conditions ambiantes. Les broyats macérés sont filtrés pour donner les extraits aqueux ou solutions mères. À partir de la solution mère de chaque extrait, une dilution a été effectuée pour obtenir des concentrations de 17% et 29% (Figure 22).

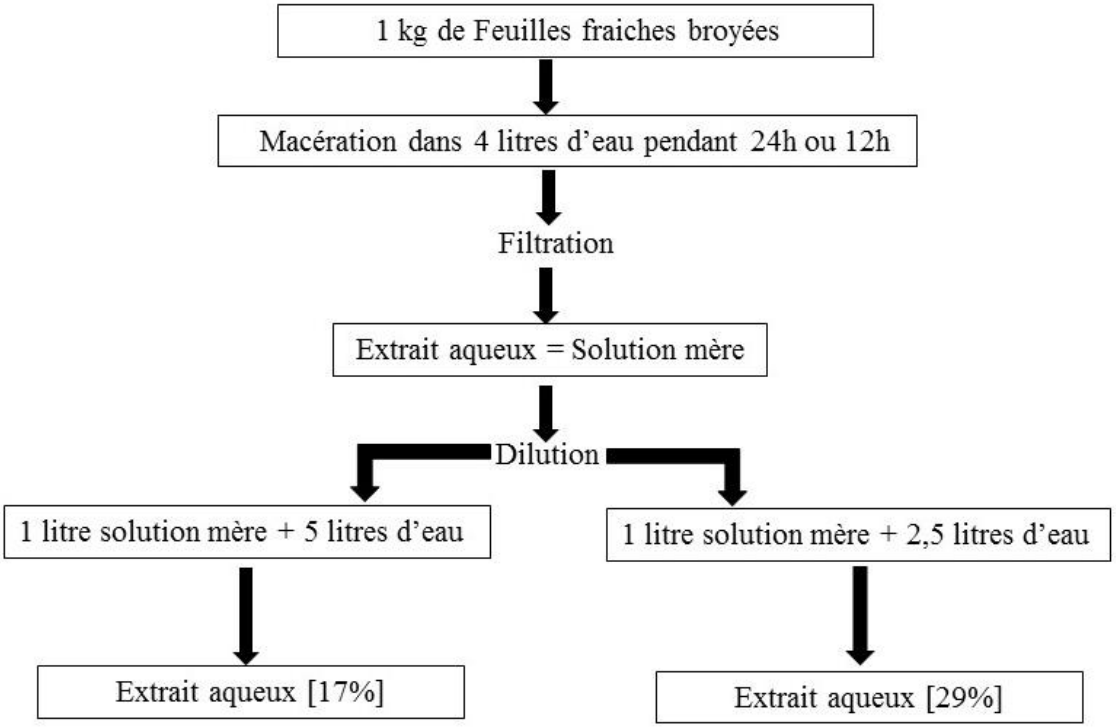


Figure 22. Schéma de préparation des extraits aqueux de feuilles

**V.1.2.7. Traitement phytosanitaire**

Les traitements phytosanitaires ont été réalisés avec les extraits aqueux de feuilles de *A. indica*, *H. suaveolens* et *A. occidentale* à différentes concentrations et la formulation CONQUEST [Cyperméthrine+Acétamipride]. Pour préparer la bouillie, la moitié de la quantité d'eau nécessaire pour un traitement a été versée dans le pulvérisateur, puis la quantité de produit adéquate et enfin le volume d'eau restant jusqu'au volume appoprié. La bouillie ainsi préparée est homogénéisée en agitant avant, et régulièrement pendant la pulvérisation. Deux appareils de traitement ont été utilisés, l'un pour les extraits de plantes, l'autre pour la formulation chimique.

Les applications foliaires se font sur les 6 lignes centrales de chaque parcelle élémentaire. Pour chaque extrait et formulation chimique, 6 traitements foliaires ont été effectués entre les 31$^{ème}$ et 122$^{ème}$ jours après levée des cotonniers (JAL). L'intervalle entre deux traitements est de 14 jours.

**V.1.2.8. Observations et variables mesurées**

Dans les conditions d'expérimentation au champ, l'efficacité des extraits de plantes est généralement mesurée à travers l'abondance des populations des ravageurs ou la sévérité des dégâts.

#### V.1.2.8.1. Relevés de l'entomofaune

Les relevés directs sont réalisés sur 30 plants par parcelle élémentaire pris par groupe de 5 plants de façon consécutive sur les 6 lignes centrales, selon la méthode de la diagonale (Figure 23) du 30ème au 122ème jour après levée (JAL) des cotonniers. Les observations sont faites chaque semaine et à la veille des traitements (T-1 et T+7). Le nombre de chenilles de ***Helicoverpa armigera*** présent est enregistré en examinant le plant en entier.

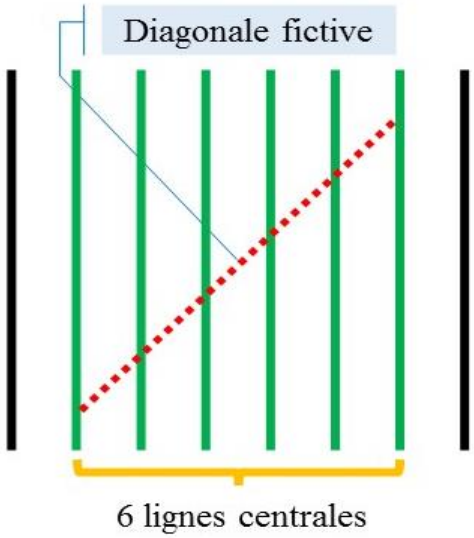


Figure 23. Schéma de relevés de l'entomofaune dans une parcelle élémentaire

#### V.1.2.8.2. Analyses sanitaires des capsules vertes (ASCV)

Les analyses sont réalisées sur 50 capsules vertes de même âge (diamètre supérieur à 2 cm) par parcelle élémentaire au 80, 87, 94, 101 et 108ème JAL. Ces capsules sont prélevées au milieu du plant et proches de la tige principale, à raison d'une capsule par plant. Elles sont ensuite dépouillées et examinées en dénombrant les capsules trouées. Comme le fait voir la figure 24 le prélèvement se fait sur les 2 lignes (L2 et L7) prises une de part et d'autre des 4 lignes centrales.

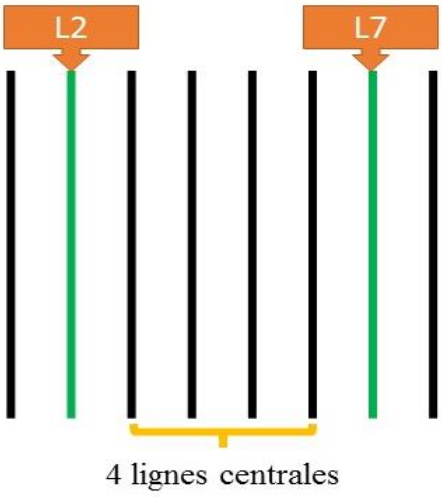


Figure 24: Schéma de l'analyse sanitaire des capsules vertes (ASCV) dans une parcelle élémentaire

**V.1.2.8.3. Analyse sanitaire des capsules mûres (ASCM)**

L'analyse sanitaire des capsules mûres est réalisée à la récolte sur les 2 lignes (L3 et L6) situées de part et d'autre des 2 lignes centrales sur une séquence de 6 m (laisser au moins 2 m de bordures aux 2 extrémités de chaque ligne). Les nombres de capsules mûres saines et attaquées (catégorisées en momifiées, percées/trouées et pourries) sont enregistrés.

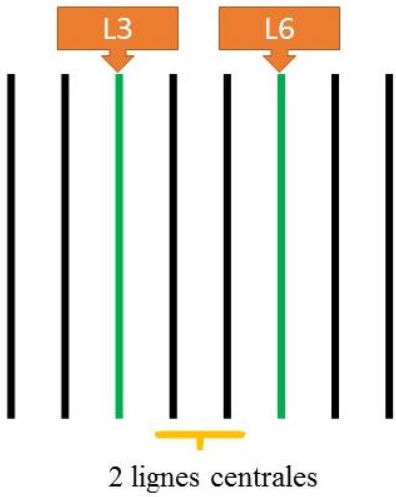


Figure 25. Schéma de l'analyse sanitaire des capsules mûres (ASCM) dans une parcelle élémentaire

**V.1.2.9. Traitement des données**

Les différentes données obtenues lors des expérimentations en station ont été analysées par le logiciel R (version 3.5.2). Le modèle linéaire généralisé mixte (GLMM) a été utilisé pour voir l'existence d'une différence significative des facteurs 'objet' (= traitement) et 'répétition'

suivant le nombre de chenilles (distribution de Poisson ou quasi Poisson) et le pourcentage de capsules vertes et mûres (la famille binomial ou quasibinomial). Pour les capsules mûres saines et vertes, le modèle linéaire généralisé (GLM) a été utilisé avec la distribution binomiale des erreurs ou structure quasibinomial. Dans le cas où les analyses révèlent des différences significatives entre les objets, les moyennes (± écart-type) sont comparées grâce aux tests de comparaisons multiples de Tukey pour détecter les traitements significativement supérieures, inférieures ou égales entre elles au seuil de 5% de probabilité ($p>0.05$).

### V.1.3. Résultats

#### V.1.3.1. Effet des extraits aqueux de feuilles *A. indica, H. suaveolens* et *A. occidentale* sur les infestations de chenilles de *H. armigera*

L'étude de l'efficacité des extraits aqueux de feuilles de *A. indica* (neem), *H. suaveolens* et *A. occidentale* a été testée à deux concentrations : 17% et 29%. Les Figures 13, 14 et 15 illustrent l'évolution temporelle du nombre moyen de chenilles observées sur 30 plants présentes dans les parcelles traitées et non traitées. Dans les différents sites d'étude, les infestations de la noctuelle *H. armigera* suivent la même tendance avec des niveaux plus faibles dans les parcelles traitées. Une variation du nombre de chenilles est observée entre les parcelles traitées avec les extraits de plantes et celles qui ont reçu le traitement chimique avec CONQUEST C. Une baisse de l'effectif des chenilles est constatée de manière générale à chaque application des extraits de plantes au niveau des parcelles de cotonniers. L'analyse statistique avec le modèle linéaire généralisé mixte a permis de voir l'efficacité des extraits aqueux de feuilles de neem, *Hyptis* et *Anacardium* à différentes concentrations (17% et 29%) par rapport au témoin chimique et au témoin absolu (Non traité) comme indiqué sur les les Tableaux 19, 20 et 21. Une analyse hebdomadaire des périodes de fortes infestations a été réalisée pour chaque année et chaque site.

### V.1.3.1.1. Résultats des expérimentations menées dans l'AMEX de Vélingara

Au total, cinq applications ont été réalisées avec les extraits de plantes et le témoin chimique pour chaque année. À Vélingara, le nombre moyen de larves pour 30 plants (3 à 7 chenilles) est plus important en 2015 avec 3 pics qui dépassent le seuil d'intervention (3 chenilles / 30 plants) sur les parcelles témoins non traitées. En revanche, les relevés hebdomadaires au niveau des parcelles traitées avec les extraits de plantes (17% et 29%) et le témoin chimique indiquent des niveaux d'infestation plus faibles. Cependant, il est constaté que pour la majorité des dates de relevés, le témoin chimique CONQUEST C montre des niveaux d'attaques moins élevés que les extraits de plantes (Figure 26).

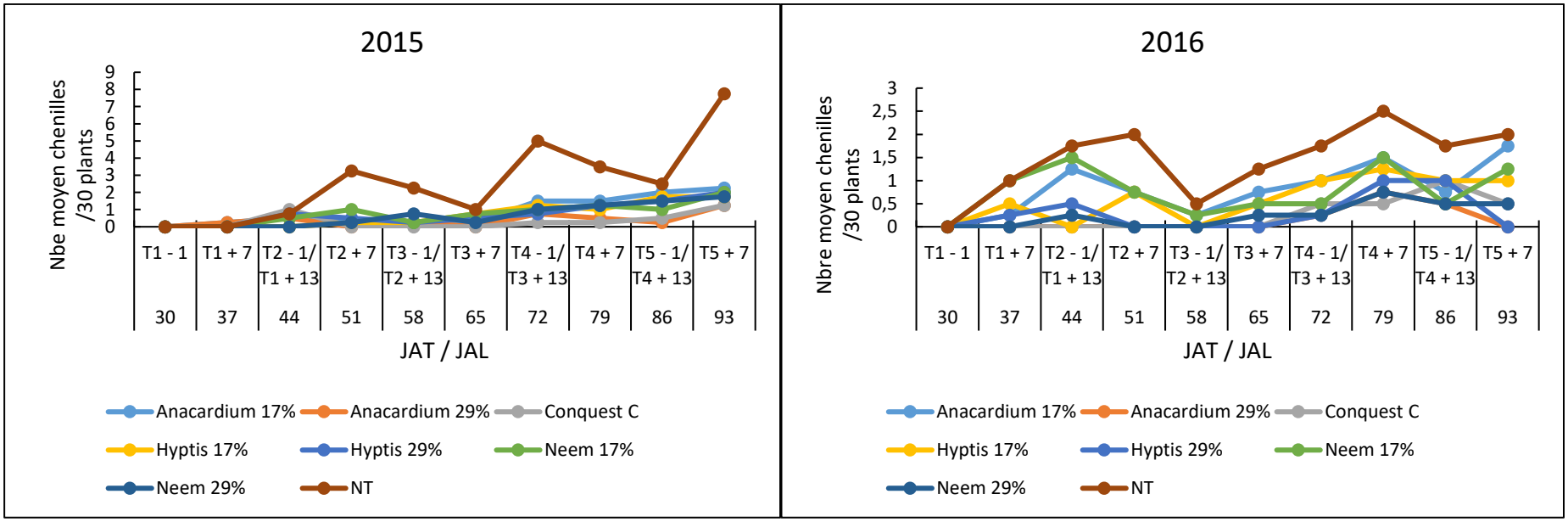


Figure 26**.** Evolution de la population larvaire de *Helicoverpa armigera* en fonction des dates d'observation à Vélingara durant les campagnes 2015 et 2016. JAL = Jour Après Levée ; JAT = Jour Après Traitement ; T1 = traitement 1 ; T2 = traitement 2 ; T3 = traitement 3 ; T4 = traitement 4 ; T5 = traitement 5. T**n** - 1 = 1 jour avant Traitement **n** ; T**n** + 7 = Traitement **n** + 7 jours ; T**n** + 13 = Traitement **n** + 13 jours.

En 2015, les fluctuations des populations larvaires sont observées à partir du 44 JAL coïncidant au début de la floraison. Le premier pic avec une moyenne de 3,25 chenilles / 30 plants est apparu au 51 JAL correspondant au 7ème jour après le deuxième traitement (T2 + 7). Au 72 JAL, le second pic apparait avec 5 chenilles / 30 plants, 13 jours après le 3ème traitement. Un troisième pic, plus important (8 chenilles / 30 plants) est constaté au 93 JAL correspondant au 7ème jour après le dernier traitement. En 2016, les infestations de chenilles de *H. armigera* sont moins importantes. Néanmoins, le niveau de population du témoin « non traité » est nettement plus élevé que celui des extraits de plantes et du témoin chimique. Les chenilles sont apparues entre 30 et 37 JAL avec 2 pics majeurs dont le premier au 44 JAL avec les parcelles traitées et au 51 JAL avec les témoins non traités et le second au 79 JAL (Figure 26).

Le tableau 13 présente le nombre moyen de chenilles de *H. armigera* durant les périodes de fortes infestations en 2015 et 2016 au niveau des parcelles d'essai. D'après ces résultats, les extraits de plantes permettent de réduire le niveau de populations larvaire de la noctuelle à Vélingara. L'analyse statistique avec le modèle linéaire généralisé mixte indique une différence entre les traitements de manière générale. Au seuil de 5% suivant le test de comparaison multiple de Tukey, les extraits aqueux de feuilles de neem, *Hyptis* et *Anacardium* ont permis de réduire significativement le nombre de chenilles par rapport au témoin « non traité » en 2015 pour les périodes de fortes infestations (51, 72, 79 et 93 JAL). Cette capacité de réduction est statistiquement équivalente à celle du témoin de référence chimique « CONQUEST C ». En 2016, à 7 jours après les traitements, les extraits à 29% offre un meilleur contrôle du ravageur similaire au témoin chimique par rapport au témoin « non traité ». Les périodes correspondant à 13 jours après application montrent qu'il n'y a pas de différence significative entre les produits de traitements et le témoin absolu « non traité ».

Tableau 13. Effet des différentes concentrations (17% et 29%) d'extraits de plantes sur le niveau moyen des populations de chenilles de *Helicoverpa armigera* en fonction des dates de forte infestation et de traitement à Vélingara.

| | **Année 2015** | | | | **Année 2016** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **JAL** | **51** | **72** | **79** | **93** | **51** | **72** | **79** | **86** | **93** |
| **JAT** | **T2 + 7** | **T4 - 1 / T3 + 13** | **T4 + 7** | **T5 + 7** | **T2 + 7** | **T4 - 1/ T3 + 13** | **T4 + 7** | **T5 - 1/ T4 + 13** | **T5 + 7** |
| **Non traité** | 3,3 ± 0,5b | 5 ± 0,8b | 3,5 ± 1b | 7,8 ± 0,5b | 2 ± 0,8b | 1,8 ± 0,5a | 2,5 ± 0,6c | 1,8 ± 1a | 2 ± 0,8b |
| **CONQUEST C** | 0,0 ± 0a | 0,3 ± 0,5a | 0,3 ± 0,5a | 1,3 ± 0,5a | 0 ± 0a | 0,5 ± 0,6a | 0,5 ± 0,6a | 1 ± 0a | 0,5 ± 0,6a |
| **Neem 17%** | 1,0 ± 0,8a | 1,0 ± 0,8a | 1,3 ± 0,5a | 2,0 ± 1,2a | 0,8 ± 1ab | 0,5 ± 1a | 1,5 ± 0,6bc | 0,5 ± 0,6a | 1,3 ± 1ab |
| **Neem 29%** | 0,3 ± 0,5a | 1 ± 1,2a | 1,3 ± 1,3a | 1,8 ± 1a | 0 ± 0a | 0,3 ± 0,5a | 0,8 ± 0,5ab | 0,5 ± 0,6a | 0,5 ± 0,6a |
| **Hyptis 17%** | 0,3 ± 0,5a | 1,3 ± 1a | 1 ± 0,8a | 1,8 ± 1a | 0,8 ± 0,5ab | 1 ± 1,2a | 1,3 ± 0,5abc | 1 ± 0a | 1 ± 0ab |
| **Hyptis 29%** | 0,5 ± 0,6a | 0,8 ± 0,5a | 1,3 ± 1a | 2 ± 0,8a | 0 ± 0a | 0,3 ± 0,5a | 1 ± 0ab | 1 ± 0a | 0 ± 0a |
| **Anacardium 17%** | 0,3 ± 0,5a | 1,5 ± 1,7a | 1,5 ± 0,6ab | 2,3 ± 0,5a | 0,8 ± 0,5ab | 1 ± 0,8a | 1,5 ± 0,6bc | 0,8 ± 0,5a | 1,8 ± 0,5b |
| **Anacardium 29%** | 0,0 ± 0a | 0,8 ± 0,5a | 0,5 ± 0,6a | 1,3 ± 0,5a | 0 ± 0a | 0,3 ± 0,5a | 0,8 ± 0,5ab | 0,5 ± 0,6a | 0 ± 0a |

*Les valeurs suivies d'une même lettre dans une colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% selon le test de Tukey. Chaque valeur représente une moyenne du nombre de chenilles enregistrées dans chaque niveau de traitement. JAL : Jour Après Levée ; JAT : Jour Après Traitement.*

#### V.1.3.1.2. Résultats des expérimentations menées de l'AMEX de Syllacounda

Le nombre de chenilles de *H. armigera* relevé en 2015 a été plus élevé que celui de 2016 à Syllacounda (Figure 27). En 2015, seulement trois traitements ont pu être appliqués sur les parcelles d'essai alors qu'en 2016 quatre traitements sont réalisés. Le nombre moyen de *H. armigera* a varié en 2015 de 0,65 chenilles (CONQUEST C) à 3,25 chenilles (non traité). En 2016, il a varié de 0,62 chenilles (CONQUEST C) à 1,61 chenille (non traité). L'évolution de la population de *H. armigera* présentée par les courbes de la Figure 27 montre que l'application avec les concentrations 17% et 29% ont sensiblement inhibé le développement des larves par rapport au témoin « non traité » en fonction des dates d'observation.

En 2015, sur les parcelles non traitées, le pic est apparu dès le 30$^{ème}$ JAL avec 4,75 chenilles / 30 plants et s'est maintenu à 4,5 chenilles du 37 au 51 JAL avant de baisser progressivement pour atteindre un minimum. Sur les parcelles traitées avec le produit chimique et les extraits aqueux de feuilles, le niveau de population est resté dans l'ensemble en dessous de 3 chenilles mis à part le 37 (T1+7) et 44 JAL (T1 + 13). En 2016, les infestations ont été faibles. Les chenilles sont observées à partir 37 JAL. Un pic est noté au 58 JAL (T2 + 13) avec 1,5 chenilles / 30 plants.

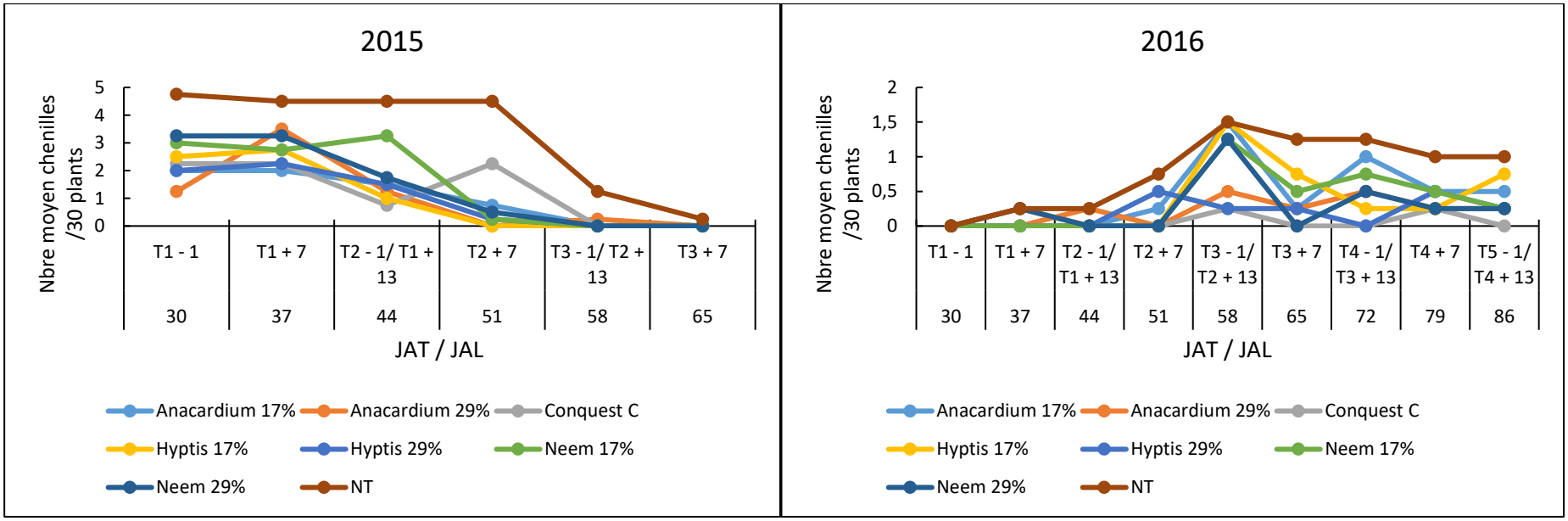


Figure 27**.** Evolution de la population larvaire de *Helicoverpa armigera* en fonction des dates d'observation à Syllacounda durant les campagnes 2015 et 2016. JAL = Jour Après Levée ; JAT = Jour Après Traitement ; T1 = traitement 1 ; T2 = traitement 2 ; T3 = traitement 3 ; T4 = traitement 4 ; T5 = traitement 5. T**n** - 1 = 1 jour avant Traitement **n** ; T**n** + 7 = Traitement **n** + 7 jours ; T**n** + 13 = Traitement **n** + 13 jours.

Tableau 14. Effet des différentes concentrations (17% et 29%) d'extraits de plantes sur le niveau moyen des populations de chenilles de *Helicoverpa armigera* en fonction des dates de forte infestationvet de traitement à Syllacounda.

| | **Année 2015** | | | **Année 2016** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **JAL** | **37** | **44** | **51** | **58** | 65 | 72 |
| **JAT** | **T1 + 7** | **T2 - 1/ T1 + 13** | **T2 + 7** | **T3 - 1/ T2 + 13** | **T3 + 7** | **T4 - 1/ T3 + 13** |
| **NT** | 4,5 ± 1,3b | 4,5 ± 1b | 4,5 ± 2,4b | 1,5 ± 0,6a | 1,3 ± 0,5a | 1,3 ± 1a |
| **CONQUEST C** | 2,3 ± 1a | 0,8 ± 1a | 2,3 ± 3,9ab | 0,3 ± 0,5a | 0,0 ± 0a | 0,0 ± 0a |
| **Neem 17%** | 2,8 ± 1,3ab | 3,3 ± 3,4b | 0,3 ± 0,5a | 1,3 ± 0,5a | 0,5 ± 0,6a | 0,8 ± 1a |
| **Neem 29%** | 3,3 ± 1,3ab | 1,8 ± 1,7a | 0,5 ± 1a | 1,3 ± 0,5a | 0,0 ± 0a | 0,5 ± 0,6a |
| **Hyptis 17%** | 2,8 ± 1,5ab | 1,0 ± 1,4a | 0,0 ± 0a | 1,5 ± 1a | 0,8 ± 0,5a | 0,3 ± 0,5a |
| **Hyptis 29%** | 2,3 ± 1,9a | 1,5 ± 1,9a | 0,3 ± 0,5a | 0,3 ± 0,5a | 0,3 ± 0,5a | 0,0 ± 0a |
| **Anacardium 17%** | 2,0 ± 1,2a | 1,5 ± 1,3a | 0,8 ± 0,5a | 1,5 ± 0,6a | 0,3 ± 0,5a | 1,0 ± 0,8a |
| **Anacardium 29%** | 3,5 ± 1,3ab | 1,3 ± 0,5a | 0,0 ± 0a | 0,5 ± 0,6a | 0,3 ± 0,5a | 0,5 ± 1a |

*Les valeurs suivies d'une même lettre dans une colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% selon le test de Tukey. Chaque valeur représente une moyenne du nombre de chenilles enregistrés dans chaque niveau de traitement. JAL : Jour Après Levée ; JAT : Jour Après Traitement.*

Les différentes dates (JAL) observées sur le tableau 14 représentent les fortes infestations et/ou pics de la noctuelle à Syllacounda. De manière générale, les extraits aqueux de feuilles de neem, *Hyptis* et *Anacardium* ont permis de réduire de manière significative la pression des chenilles de la noctuelle par rapport au témoin « non traité » en 2015. A 37 JAL correspondant au 7$^{ème}$ jour après le premier traitement les extraits de *Hyptis* à 29% et ceux d'*Anacardium* à 17% ont donné un meilleur contrôle des chenilles par rapport au témoin « non traité ». Au 13$^{ème}$ JAL après le premier traitement, seul le neem 17% n'a pas été efficace. Au 7$^{ème}$ jour après la deuxième application, tous les extraits de plantes ont permis de diminuer significativement le niveau d'infestation par rapport au témoin non traité. Mais il n'existe pas de différence significative entre les extraits de plantes et leur concentration qui ont présenté une performance statistiquement similaire au témoin chimique CONQUEST C. Cependant le témoin chimique

n'est pas statistiquement différent du témoin non traité. En 2016, les traitements aux extraits aqueux de plantes pour contrôler les populations de chenilles de *H. armigera* sur les parcelles de cotonniers n'ont pas montré de différence significative par rapport aux témoins. Le niveau faible de la population larvaire cette année dans les parcelles d'essai à Syllacounda n'a pas permis de déceler de différences significatives entre les objets.

### V.1.3.1.3. Résultats des expérimentations menées de l'AMEX de Dialacoto

Dans le site de Dialacoto, la présence des chenilles a été plus abondante en 2016 contrairement aux 2 autres sites (Figure 28). Le nombre de larves de *H. armigera* varie en moyenne de 0,5 chenille (CONQUEST C) à 1,3 chenille (Non traité) en 2015 et de 2 chenilles (CONQUEST C) à 3,6 chenilles (Non traité) en 2016. Au total cinq applications foliaires ont été réalisées en 2015 et six en 2016 sur les parcelles de cotonniers.

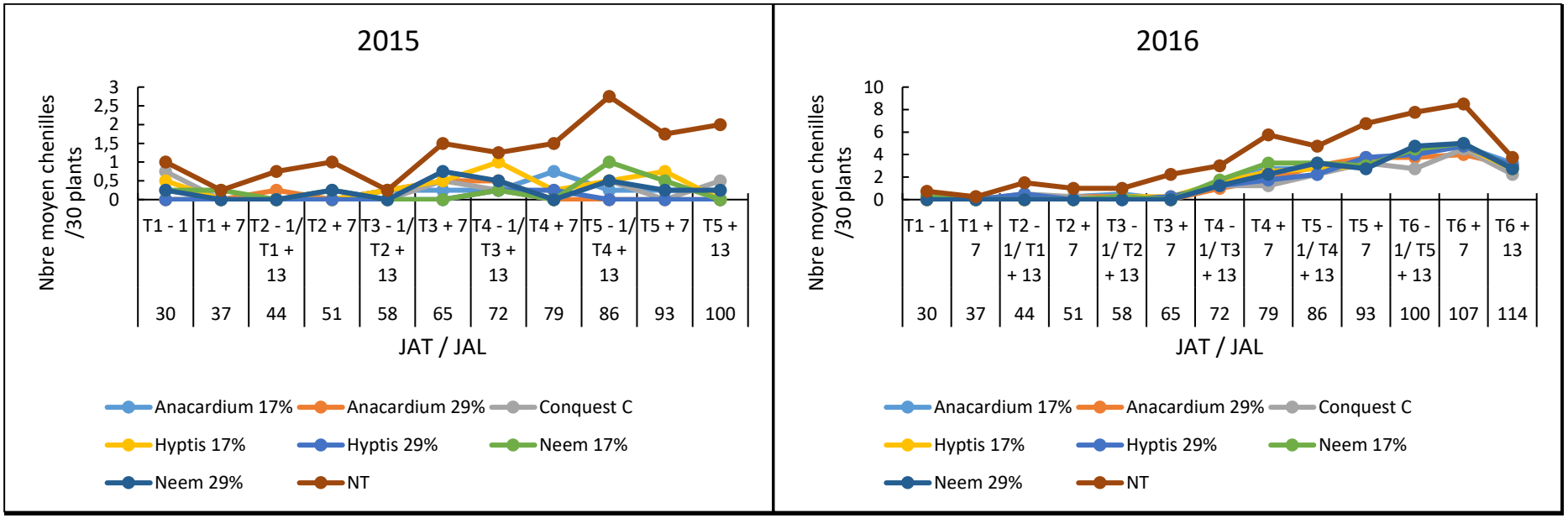


Figure 28**.** Evolution de la population larvaire de *Helicoverpa armigera* en fonction des dates d'observation à Dialacoto durant les campagnes 2015 et 2016. JAL = Jour Après Levée ; JAT = Jour Après Traitement ; T1 = traitement 1 ; T2 = traitement 2 ; T3 = traitement 3 ; T4 = traitement 4 ; T5 = traitement 5. T**n** - 1 = 1 jour avant Traitement **n** ; T**n** + 7 = Traitement **n** + 7 jours ; T**n** + 13 = Traitement **n** + 13 jours.

En 2015, les chenilles de *H. armigera* sont apparues dès le 30 JAL. Sur les parcelles témoins non traitées le niveau de population augmente dans le temps jusqu'à atteindre un maximum de 2,75 chenilles au 86 JAL alors que sur les parcelles traitées au produit chimique et aux différentes concentrations d'extraits aqueux de feuilles les niveaux de population sont restés très bas (0,25 à 1,25 en moyenne). En 2016, l'évolution du ravageur est similaire dans toutes les parcelles avec une pression moins importante sur les parcelles traitées. Les chenilles apparaissent au 30 JAL dans les parcelles non traitées et au 44 JAL dans celles traitées. Ils évoluent progressivement et atteint un pic de 6 chenilles chez le témoin « non traité » et 3 chenilles sur les parcelles traitées au 79 JAL. Le second pic est observé au 107 JAL avec 8 chenilles sur les parcelles non traitées et 5 chenilles / 30 plants sur celles traitées.

Tableau 15**.** Effet des différentes concentrations (17% et 29%) d'extraits de plantes sur le niveau moyen des populations de chenilles de *Helicoverpa armigera* en fonction des dates de forte infestation et de traitement à Dialacoto

| | **Année 2015** | | | **Année 2016** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **JAL** | **86** | **93** | **100** | **72** | **79** | **86** | **93** | **100** | **107** | **114** |
| **JAT** | **T5 - 1/ T4 + 13** | **T5 + 7** | **T5 + 13** | **T4 - 1/ T3 + 13** | **T4 + 7** | **T5 - 1/ T4 + 13** | **T5 + 7** | **T6 - 1/ T5 + 13** | **T6 + 7** | **T6 + 13** |
| **NT** | 2,8 ± 1b | 1,8 ± 1,5b | 2 ± 0,8b | 3 ± 1,2a | 5,8 ± 2,9d | 4,8 ± 1,3b | 6,8 ± 0,5b | 7,8 ± 1,7c | 8,5 ± 1,7b | 3,8 ± 0,5b |
| **CONQUEST C** | 0,5 ± 0,6a | 0 ± 0a | 0,5 ± 1a | 1,3 ± 1a | 1,3 ± 0,5a | 2,3 ± 0,5a | 3,3 ± 1a | 2,8 ± 1,3a | 4,5 ± 0,6a | 2,3 ± 0,5a |
| **Neem 17%** | 1 ± 1,4ab | 0,5 ± 0,6a | 0 ± 0a | 1,8 ± 0,5a | 3,3 ± 1c | 3,3 ± 1a | 3 ± 2a | 4,5 ± 0,6b | 5 ± 0,8a | 2,8 ± 1ab |
| **Neem 29%** | 0,5 ± 0,6a | 0,3 ± 0,5a | 0,3 ± 0,5a | 1,3 ± 0,5a | 2,3 ± 0,5abc | 3,3 ± 1a | 2,8 ± 0,5a | 4,8 ± 1b | 5 ± 0,8a | 2,8 ± 0,5ab |
| **Hyptis 17%** | 0,5 ± 1a | 0,8 ± 0,5a | 0 ± 0a | 1,5 ± 1a | 2,5 ± 0,6abc | 2,8 ± 0,5a | 3 ± 0a | 4,5 ± 0,6b | 4,8 ± 1a | 2,8 ± 0,5ab |
| **Hyptis 29%** | 0 ± 0a | 0 ± 0a | 0 ± 0a | 1,3 ± 1a | 1,8 ± 0,5ab | 2,3 ± 0,5a | 3,8 ± 1,3a | 4 ± 0,8ab | 4,8 ± 1,3a | 3 ± 1,2ab |
| **Anacardium 17%** | 0,3 ± 0,5a | 0,3 ± 0,5a | 0,3 ± 0,5a | 1,5 ± 0,6a | 2,8 ± 1bc | 2,8 ± 0,5a | 3,3 ± 0,5a | 4,5 ± 0,6b | 4,8 ± 1,3a | 3,3 ± 0,5ab |
| **Anacardium 29%** | 0 ± 0a | 0 ± 0a | 0 ± 0a | 1 ± 0,8a | 1,8 ± 0,5ab | 3 ± 0,8a | 3,8 ± 1a | 3,8 ± 0,5ab | 4 ± 0a | 3 ± 1,2ab |

*Les valeurs suivies d'une même lettre dans une colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% selon le test de Tukey. Chaque valeur représente une moyenne du nombre de chenilles enregistrées dans chaque niveau de traitement. JAL : Jour Après Levée ; JAT : Jour Après Traitement.*

Le tableau 15 montre l'effet des extraits aqueux de feuilles de neem, *Hyptis* et *Anacardium* sur l'évolution du ravageur. Les différentes concentrations d'extraits aqueux de plantes et le témoin chimique, statistiquement équivalent, ont permis de contrôler significativement les infestations de la noctuelle par rapport au témoin « non traité » en 2015. Pour la campagne 2016, les périodes d'infestation sont plus nombreuses. Au 72$^{ème}$ JAL correspondant au 13$^{ème}$ jour après le traitement 3, aucune différence significactive n'est observée entre les traitements et le témoin non traité. Au 79$^{ème}$ (T4 + 7), les extraits de plantes ont permis de réduire significativement les infestations. Les extraits de plantes à 29% et l'extrait de *Hyptis* à 17% sont statisquement équivalent au témoin chimique « CONQUEST C » dans le contrôle du ravageur. Au 86$^{ème}$ (T4 + 13), 93$^{ème}$ (T5 + 7) et 107$^{ème}$ (T6 + 7) JAL, les différentes concentrations d'extraits aqueux de plantes équivalents entre eux, ont réduit significativement le nombre de chenilles de la noctuelle par rapport au témoin « non traité ». Cette performance de contrôle est statistiquement similaire au témoin chimique. Au 100$^{ème}$ JAL (T5 + 13), les extraits de plantes ont également eu un bon contrôle sur les chenilles. A cette date, les extraits de *Hyptis* 29% et de *Anacardium* 29% ont été aussi efficace que le témoin chimique. Au 114$^{ème}$ JAL correspondant au 13$^{ème}$ jour après le traitement 6, les extraits aqueux de feuilles de neem, *Hyptis* et *Anacardium* montrent une efficacité intermédiaire par rapport au témoin « non traité » et au témoin chimique CONQUEST C sur le contrôle des chenilles de *H. armigera*.

### V.1.3.2. Evaluation des dégâts causés par *H. armigera* sur les capsules vertes de cotonnier

#### V.1.3.2.1. Résultats de l'analyse sanitaire des capsules vertes (ASCV) à Vélingara

Le tableau 16 présente les résultats concernant le taux de capsules vertes attaquées à Vélingara en 2015 et 2016. Les dégâts observés sur les capsules vertes ont été plus importants en 2015 (14,5%) qu'en 2016 (7,5%). Les analyses sanitaires hebdomadaires réalisées du 87$^{ème}$ au 101$^{ème}$ JAL sur les capsules vertes de cotonnier ont révélé des différences hautement significatives à toutes les dates en 2015. Au 80$^{ème}$ et 101$^{ème}$ JAL, les différentes concentrations des extraits de plantes ont eu la même efficacité que le témoin chimique qui a permis de réduire significativement les dégâts par rapport au témoin « non traité ». Au 87$^{ème}$ JAL tous les produits de traitements ont eu un bon contrôle des dégâts par rapport au témoin absolu sauf l'extrait aqueux d'anacarde à 17%. Au 94$^{ème}$ JAL, les extraits de plantes ont permis de réduire significativement les dégâts sur les capsules vertes par rapport au témoin « non traité ». Par ailleurs, l'extrait de neem à 29% et l'extrait de *Hyptis* à 29% ont eu la même performance que le témoin chimique qui a mieux réduit les dégâts par rapport à l'extrait de neem à 17% et l'extrait de *Hyptis* à 17%. Les deux concentrations d'extrait d'*Anacardium* ont une efficacité

intermédiaire. En 2016, les résultats montrent un très faible taux de dégâts sur les capsules vertes de cotonniers pour toutes les parcelles. Il varie de 1,5 à 7,5%. Au 80ème et 87ème JAL, les extraits de plantes ont eu de manière générale une efficacité intermédiaire entre le témoin chimique CONQUEST C et le témoin non traité. Par contre, au 94ème et 101ème JAL l'analyse n'a pas mis en évidence de différence significative entre les traitements.

Tableau 16**.** Taux moyens de capsules vertes attaquées par les chenilles de *Helicoverpa armigera* à Vélingara.

| | Année 2015 | | | | Année 2016 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **JAL** | **80** | **87** | **94** | **101** | **80** | **87** | **94** | **101** |
| **NT** | 14,5 ± 6,2b | 13,5 ± 5,7b | 13 ± 5,3c | 14,5 ± 4,1b | 7,5 ± 1b | 6 ± 1,6b | 1,5 ± 1,9a | 4 ± 1,6a |
| **CONQUEST C** | 3 ± 1,2a | 1,5 ± 1,9a | 3,5 ± 1a | 4,5 ± 1a | 1,5 ± 1,9a | 2 ± 1,6a | 1,5 ± 1,9a | 2 ± 2,8a |
| **Neem 17%** | 6 ± 1,6a | 3 ± 2,6a | 7 ± 2,6b | 3,5 ± 1,9a | 3 ± 2,6a | 4,5 ± 1,9ab | 3 ± 2,6a | 3,5 ± 2,5a |
| **Neem 29%** | 4,5 ± 1a | 3,5 ± 3a | 3,5 ± 1a | 3,5 ± 1a | 3 ± 3,5ab | 4 ± 1,6ab | 0 ± 0a | 2,5 ± 3a |
| **Hyptis 17%** | 5,5 ± 3,8a | 2,5± 1a | 7 ± 2,6b | 4,5 ± 1,9a | 1,5 ± 1,9a | 4± 1,6ab | 2,5 ± 1a | 1,5 ± 1a |
| **Hyptis 29%** | 5 ± 2,6a | 2 ± 1,6a | 3 ± 1,2a | 3,5 ± 2,5a | 3 ± 2,6ab | 4,5 ± 1ab | 1 ± 1,2a | 0 ± 0a |
| **Anacardium 17%** | 5,5 ± 3,4a | 13 ± 16,9b | 6 ± 3,3ab | 4 ± 1,6a | 4 ± 2,8ab | 3,5 ± 1ab | 1,5 ± 1,9a | 2,5 ± 1,9a |
| **Anacardium 29%** | 5 ± 1,2a | 2 ± 1,6a | 5 ± 1,2ab | 3 ± 2a | 3,5 ± 1,9ab | 2,5 ± 2,5a | 1,5 ± 1,9a | 1,5 ± 3a |

*Les valeurs suivies d'une même lettre dans une colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% selon le test de Tukey. Chaque valeur représente le pourcentage moyen de capsules vertes attaquées enregistrées dans chaque niveau de traitement. JAL : Jour Après Levée.*

**V.1.3.2.2. Résultats de l'analyse sanitaire des capsules vertes (ASCV) à Syllacounda**

Le pourcentage des capsules vertes de cotonniers attaquées à Syllacounda en 2015 est représenté par le tableau 17. Dans ce site d'étude, les analyses sanitaires sur les fruits verts n'ont pas pu être effectuées en 2016. Les attaques sur capsules vertes de cotonniers ont été relativement faibles (4,5%). Au 80ème et 87ème JAL, les extraits aqueux de plantes ont permis de réduire significativement les dégâts au même titre que le témoin chimique par rapport au témoin « non traité ». Le neem 29% et l'anacarde 29% ont eu une efficacité intermédiaire. Ces taux de dégâts ne semblent pas avoir été influencés par les traitements au 94ème et 101ème JAL. En effet, aucune différence significative n'est décelée entre le pourcentage de capsules vertes attaquées dans les parcelles traitées et celles non traitées.

Tableau 17**.** Taux moyens de capsules vertes attaquées par les chenilles de *Helicoverpa armigera* à Syllacounda.

| | 2015 | | | |
|---|---|---|---|---|
| **JAL** | **80** | **87** | **94** | **101** |
| **NT** | 3,5 ± 1b | 4,5 ± 1,9b | 2,5 ± 1,9a | 2 ± 1,6a |
| **CONQUEST C** | 0 ± 0a | 0,5 ± 1a | 0,5 ±1 a | 0,5 ± 1a |
| **Neem 17%** | 1 ± 1a | 1,5 ± 1,9a | 0,5 ± 1 | 0,5 ± 1a |
| **Neem 29%** | 2,5 ± 1ab | 0,5 ± 1a | 0,5 ± 1a | 0,5 ± 1a |
| **Hyptis 17%** | 0,5 ± 1a | 1 ± 2a | 0,5 ± 1a | 0,5 ± 1a |
| **Hyptis 29%** | 0 ± 0a | 1 ± 1,2a | 0,5 ± 1a | 1 ± 2a |
| **Anacardium 17%** | 1 ± 1,2a | 1 ± 2a | 1,5 ± 1,9a | 0,5 ± 1a |
| **Anacardium 29%** | 1,5 ± 1,9ab | 1 ± 2a | 0,5 ± 1a | 0 ± 0a |

*Les valeurs suivies d'une même lettre dans une colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% selon le test de Tukey. Chaque valeur représente le pourcentage moyen du nombre de capsules vertes attaquées enregistrées dans chaque niveau de traitement. JAL : Jour Après Levée.*

**V.1.3.2.3. Résultats de l'analyse sanitaire des capsules vertes (ASCV) à Dialacoto**

Le tableau 18 illustre les résultats des analyses sanitaires effectuées sur les capsules vertes de cotonnier à Dialacoto en 2015 et 2016. Les dégâts causés par les chenilles de *H. armigera* sur les capsules vertes sont moins élevés en 2015 (18%) qu'en 2016 (25%). En 2015 du 80$^{ème}$ au 101$^{ème}$ JAL, il n'existe aucune différence significative entre le taux de capsules vertes attaquées dans les parcelles traitées et celles non traitées. Par ailleurs au 108$^{ème}$ JAL les extraits aqueux de plantes contrôlent aussi bien les dégâts que le témoin chimique par rapport au témoin absolu « non traité » à l'exception du neem 17%. En 2016, le témoin chimique CONQUEST C a réduit significativement les dégâts par rapport au témoin non traité. En outre, les extraits aqueux de feuilles de neem, de *Hyptis* et de *Anacardium* offrent une efficacité intermédiaire sur la réduction des attaques sur les capsules vertes de cotonniers. Ils sont statistiquement équivalents au témoin chimique à l'exception d'Anacardium 29% au 80 ème JAL et des deux concentrations de *Hyptis* au 87$^{ème}$ JAL.

Tableau 18**.** Taux moyens de capsules vertes attaquées par les chenilles de *Helicoverpa armigera* à Dialacoto.

| | 2015 | | | | | 2016 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **JAL** | **80** | **87** | **94** | **101** | **108** | **80** | **87** | **94** | **101** | **108** |
| **NT** | 2,5 ± 1,9a | 9 ± 6a | 10 ± 1,6a | 18 ± 2,3a | 16 ± 6,7b | 21 ± 3,4b | 25 ± 5,2b | 23 ± 3,8b | 25,5 ± 6,1b | 17 ± 2,6b |
| **CONQUEST C** | 1 ± 1,2a | 6 ± 1,6a | 4,5 ± 1a | 12,5 ± 6,6a | 8 ± 1,6a | 15,5 ± 3,4a | 13,5 ± 5a | 16,5 ± 4,1a | 15,5 ± 3,4a | 9 ± 5,2a |
| **Neem 17%** | 1 ± 2a | 6 ± 2,8a | 8 ± 3,6a | 14 ± 4,3a | 16 ± 2,8b | 20 ± 3,2ab | 18 ± 2,8ab | 20,5 ± 2,5ab | 20 ± 3,2ab | 11,5 ± 4,1ab |
| **Neem 29%** | 1,5 ± 1a | 7,5 ± 3a | 8 ± 5,4a | 11,5 ± 3a | 12 ± 2,8ab | 19,5 ± 1ab | 20 ± 3,2ab | 19,5 ± 4,1ab | 23 ± 3,4ab | 11 ± 2,5ab |
| **Hyptis 17%** | 1,5 ± 1,9a | 6 ± 2,8a | 7,5 ± 2,5 | 15 ± 5,2a | 12,5 ± 1,9ab | 20,5 ± 5ab | 22,5 ± 3b | 20 ± 1,6ab | 19,5 ± 4,1ab | 9 ± 3,8a |
| **Hyptis 29%** | 1 ± 1,2a | 5 ± 2a | 7,5 ± 5,2a | 16 ± 6,7a | 11 ± 1,1ab | 19,5 ± 3ab | 20,5 ± 1,9b | 19 ± 2,5ab | 19 ± 2,6ab | 13,5 ± 3,4ab |
| **Anacardium 17%** | 0,5 ± 1a | 5,5 ± 3a | 6,5 ± 3,8a | 16,5 ± 5,5a | 12,5 ± 3,4ab | 20,5 ± 1ab | 18 ± 2,3ab | 19 ± 2,5ab | 18,5 ± 3,4ab | 13 ± 2ab |
| **Anacardium 29%** | 3,5 ± 1a | 6 ± 4,3a | 8 ± 4,3a | 14 ± 5,9a | 12 ± 5,9ab | 22 ± 2,3b | 20 ± 3,2ab | 19,5 ± 4,1ab | 18,5 ± 3ab | 12 ± 3,2ab |

*Les valeurs suivies d'une même lettre dans une colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% selon le test de Tukey. Chaque valeur représente le pourcentage moyen du nombre de capsules vertes attaquées enregistrées dans chaque niveau de traitement JAL : Jour Après Levée.*

### V.1.3.3. Effet des extraits de plantes sur l'état des capsules mûres de cotonnier

Le tableau 19 représente les pourcentages de capsules mûres saines obtenus à partir des analyses sanitaires effectuées avant la récolte durant les 2 années d'expérimentation sur les trois sites.

-A Vélingara, en 2015, les capsules mûres saines enregistrées sur les parcelles traitées sont significativement plus importantes que celles trouvées sur les parcelles non traitées. Le témoin chimique, l'extrait aqueux de feuilles de neem, de *Hyptis* et de *Anacardium* à concentration 29% ont permis d'obtenir 85-89% de capsules mûres saines contre 59% pour le témoin « non traité ». D'autre part, le taux de capsules mûres saines enregistré sur les parcelles traitées avec les extraits aqueux de feuilles à concentration 29% est significativement plus élevé que celui trouvé sur les parcelles ayant reçues les traitements avec les extraits aqueux de feuilles à concentration 17%. Les extraits de plantes à concentration 29% ont été aussi efficaces que le témoin chimique CONQUEST C. En 2016, le pourcentage de capsules mûres saines est significativement plus élevé pour le témoin chimique (90%) que pour les extraits aqueux de feuilles (81-84%) et le témoin « non traité » (79%). Néanmoins les parcelles traitées avec les extraits aqueux de feuilles à concentration 29% et le neem 17% donnent un taux de capsules mûres saines significativement plus important que le témoin absolu « non traité ».

-A Syllacounda, les résultats montrent que les pourcentages de capsules mûres saines relevés en 2015 dans les parcelles ayant reçues le traitement chimique, l'extrait aqueux de neem à 29%, l'extrait de Anacardium à 29% et l'extrait aqueux de *Hyptis* à 17% et 29% sont significativement plus importants que ceux enregistrés sur les parcelles non traitées. Ils sont estimés à environ 93-94% contre 87% sur le témoin « non traité ». En 2016, le pourcentage de capsules mûres saines pour les extraits aqueux de feuilles et le témoin chimique sont significativement plus élevés que celui du témoin non traité sauf pour Anacardium 17%. Il existe également une différence significative entre le témoin chimique avec 98% de capsules mûres saines et les extraits aqueux de plantes avec un taux variant entre 94 et 96%. Cependant *Hyptis* 29% statistiquement similaire à Anacardium 29% et signifiacativement différent de *Hyptis* 17%, neem 29% et neem 17% offre un meilleur résultat.

-Les pourcentages de capsules mûres saines estimés à Dialacoto durant les deux années d'expérimentation varient de 81 à 85% dans les parcelles traitées contre 80 à 78% dans celles non traitées. Cependant, l'analyse statistique montre qu'en 2015 il n'existe aucune différence significative entre les traitements et le témoin absolu « non traité ». Par ailleurs en 2016, seules les parcelles traitées avec les extraits de *Hyptis* à concentration 29% ont permis d'obtenir un taux de capsules mûres saines significativement plus élevé que celui relevé chez le témoin « non traité ».

Tableau 19**.** Taux moyens de capsules mûres saines pour chaque site

| | Pourcentages capsules mûres saines (%) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Vélingara** | | **Syllacounda** | | **Dialacoto** | |
| | **2015** | **2016** | **2015** | **2016** | **2015** | **2016** |
| **NT** | 59,2 ± 6,4c | 79,2 ± 6,1c | 87,9 ± 5,2b | 92,8 ± 0,7e | 78,6 ± 7,4a | 80,5 ± 5,9b |
| **CONQUEST C** | 88,9 ± 2,9a | 90,2 ± 3,9a | 94,4 ± 1,8a | 98,0 ± 0,1a | 84,7± 2,9a | 82,3 ± 3,6b |
| **Neem 17%** | 75,7 ± 1,3b | 83,8 ±1,9b | 90,8 ± 4ab | 94,2 ± 0,2cd | 82,3 ± 4,8a | 80,5 ± 5,1b |
| **Neem 29%** | 85,5 ± 1,0a | 84,5 ± 4,2b | 92,8 ± 2,7a | 94,7 ± 0,7cd | 85,2 ± 1,8a | 82,2 ± 4,7b |
| **Hyptis 17%** | 78,4 ± 2,8b | 82,0 ±3,3bc | 94,3 ± 3,1a | 94,8 ± 1,0cd | 81,4 ± 1,2a | 84,4 ± 3,1b |
| **Hyptis 29%** | 88,3 ± 2,2a | 84,9 ±5,6b | 93,7 ± 1a | 96,4 ± 0,3b | 83,7 ± 2,8a | 90,4 ± 8,4a |
| **Anacardium 17%** | 78,7 ± 2,7b | 81,5 ±6,1bc | 90,9 ± 4,2ab | 93,5 ± 1,8de | 82,2 ± 4,2a | 82,1 ± 7,3b |
| **Anacardium 29%** | 88,9 ± 0,9a | 83,8 ±3,2b | 92,7 ± 2,2a | 95,5 ± 1bc | 80,9 ± 7,3a | 84,3 ± 2,1b |

*Les valeurs suivies d'une même lettre dans une colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% selon le test de Tukey. Chaque valeur représente le pourcentage moyen de capsules mûres saines enregistrées dans chaque niveau de traitement.*

### V.1.4. Discussion

L'analyse des résultats de cette étude montre que les extraits aqueux de feuilles neem, de *Hyptis* et d'*Anacardium* ont réduit de façon significative le développement de *H. armigera* ($P < 0,05$) et dans bien des cas les extraits ont entrainé des effets de toxicité similaires à celui induit par l'insecticide chimique de synthèse CONQUEST C. La présente étude a également montré que les extraits aqueux de plante sont efficaces dans la protection des capsules de cotonnier contre les attaques de *H. armigera*. Par ailleurs, les parcelles traitées avec la concentration 29% des extraits de feuilles offrent un taux plus élevé de capsules mûres saines de cotonniers que celles traitées avec les extraits à 17% sur les sites d'étude sauf à Dialacoto où il n'existe aucune différence significative. Nos résultats ont également révélé que la durée de l'effet des traitements donne un meilleur contrôle sur les larves de la noctuelle à 7 jours après application qu'à 13 jours dans nos conditions d'expérimentations. Les résultats non significatifs des observations pourraient s'expliquer par le fait que les pesticides botaniques, comme pour beaucoup de produits naturels, ont une persistance limitée sous conditions de champ à cause des températures, des rayons UV de la lumière solaire, du pH sur la plante traitée, des chutes de pluie et d'autres facteurs environnementaux et écologiques qui exercent une influence plus ou moins négative sur le principe actif (Schmutterer, 1988). Selon le même auteur, L'effet résiduel dure généralement environ 4 à 8 jours, selon les conditions environnementales et les espèces végétales traitées. Plusieurs plantes posséderaient des propriétés insecticides ou répulsives contre les insectes et parmi elles, *A indica* (neem), *H. suaveolens* et *A. occidentale* sont d'importantes espèces végétales avec à la fois des propriétés insecticides et répulsives (Kossou et al., 2000 ; Cherry et al., 2010 ; Boni et al., 2018 ; Ngom et al., 2018), pour le contrôle des insectes ravageurs appartenant à différentes familles. L'efficacité des extraits de neem contre les lépidoptères a déjà été rapportée par plusieurs auteurs. Le neem *Azadirachta indica* A. Juss (famille des *Meliaceae*) peut en effet contrôler plusieurs espèces d'insectes dont certains ravageurs du cotonnier (Shafiq et al., 2012 ; Douro et al., 2013 ; Nboyine et al., 2013). Nos résultats montrent en effet que l'application des extraits aqueux de feuilles de neem dans les champs de cotonniers entraine une baisse considérable du nombre de larves de *H. armigera*. Ascher (1993) a rapporté que les effets des extraits de neem ou des composés isolés à partir du neem comme tétranortriterpénoïdes ou limonoïdes principalement l'azadirachtine et d'autres composés hautement toxiques peuvent avoir des propriétés répulsives, insecticides, ovicides, anti-appétantes, réductrices de la fécondité et inhibitrices de la mue chez les larves. L'efficacité des extraits aqueux de neem serait due à la présence d'azadirachtine. Les études de plusieurs auteurs ont rapporté que les extraits de neem peuvent agir comme des régulateurs de croissance

pouvant affecter la ponte chez les femelles ainsi que la mue et la croissance des larves chez certains arthropodes (Stoll, 2002 ; Bélanger et Musabyimana, 2005 ; Strickman et al., 2009 ; Guèye et al., 2011). La baisse du nombre de chenilles de *H. armigera* dans les parcelles de cotonniers traitées avec les extraits aqueux de *H. suaveolens* serait due aux propriétés répulsives et insecticides de la plante. D'après Belder Den et al. (1998), l'action répulsive est due aux substances volatiles émises par la plante. Les feuilles de *H. suaveolens* contiennent de l'huile essentielle qui possède une toxicité de contact et un répulsif positif à faible dose. Cette huile essentielle renferme des composés actifs tels que le Geraniol, le 1,8 cineole, le linalool, le myrcene, le limonene, et le phellandrene qui possèdent des propriétés insecticides (Ngamo et al., 2007). Les études de Conti et al. (2011), ont montré que les huiles essentielles de *Hyptis* ont une activité répulsive sur les adultes de *Sitophilus granarius* et la toxicité a été attribuée au 1,8 cinéole, au carvacrol, au α-pinène et au β-pinène. Guèye et al. (2016) ont pu conserver des épis de maïs pendant 7 mois sans attaque d'insectes par un système sandich alternant des couches de maïs à d'autres de feuilles d'*Hyptis spicigera* dont la composition en huiles essentielles analysée en GC-MS révèle une prédominance de α et β-pinène et de β-Caryophyllène. Ces résultats confortent ceux obtenus dans la présente étude. En effet, l'analyse de la composition chimique de l'huile essentielle extraite de *H. suaveolens* utilisées dans nos expérimentations révèle la présence de ces différents composants (cf. Chapitre VIII). Relativement peu d'études ont été réalisées sur l'activité biologique des extraits de *Anacardium occidentale* contre des insectes ravageurs. La majorité des travaux mentionnent des propriétés hypoglycémiantes (Sokenga et al., 2001), antibactériennes (Santos et al., 2013), antimicrobiennes (Araujo et al. 2016), molluscicides (Leite et al., 2016). En outre, l'étude d'Azonkpin et al. (2018) a révélé que le baume de cajou a un effet régulateur sur les populations de chenilles carpophages du cotonnier et leurs dégâts sur les capsules vertes et mûres de cotonnier. Une étude similaire sur le niébé a montré que le baume de cajou permet un contrôle efficace de *Aphis craccivora*, *Megalurothrips sjöstedti* et *Maruca vitrata* ainsi qu'une réduction significative du taux d'infestation des organes fructifères de cette culture (Kpoviessi et al. 2017). L'activité insecticide de *Anacardium occidentale* serait due dans cet exemple à l'acide anacardique, le cardol, le 2-Methyl-cardol et le cardanol. Oparaeke et al. (2008) ont testé l'effet de la pâte de noix de *Anacardium occidentale* dans la lutte contre les ravageurs de stocks et ont montré une efficacité remarquable contre *Callosobruchus maculatus* ainsi qu'une réduction des dommages sur les grains. L'action des extraits d'anacarde sur les chenilles de *Helicoverpa armigera* ou les autres déprédateurs pourrait s'expliquer par la présence de certains composés actifs présents dans la plante. Les travaux de Boeke et al. (2004) ont montré qu'effectivement les terpénoïdes,

les composés phénoliques ou les flavonoïdes sont des photosynthétats des plantes qui affectent diversement la vie ou le cycle de développement des ennemis des cultures. D'après les études conduites en Malaisie par Dzamic et al. (2009) le monoterpène trans-β-ocimène (76%), principal constituant de l'huile essentielle extraite de *A. occidentale*, pourrait être responsable des activités larvicides et cytotoxiques signalés.

Les résultats de la présente étude viennent en appui aux études déjà réalisées sur les effets insecticides et répulsifs du neem, de *H. suaveolens* et de *Anacardium occidentale* réalisées sur plusieurs ravageurs dont ceux du cotonnier. En effet, Selon Djegui (2008), l'huile de neem appliquée 4 fois à la dose de 0,5 litre par ha diminue considérablement la présence de *H. armigera* dans les champs de cotonnier. Gopalakrishnan et al. (2011) ont testé différentes préparations de neem contre *H. armigera* et ont montré qu'ils ont un grand potentiel dans la gestion des chenilles de cette noctuelle. Elles entrainent une mortalité significative et réduisent considérablement le poids des larves. Les travaux de Douro et al. (2013) sur les effets de l'huile de neem ont montré après traitement une réduction de la densité de populations de *Helicoverpa armigera, Earias* spp.*, Diparopsis watersi, Spodoptera littoralis, Syllepte derogata* et de leurs dégâts sur les organes floraux-fructifères dans les champs de cotonniers. Des résultats similaires ont été obtenus par Sané et al. (2018) avec un extrait d'huile de neem formulé 1% contre les ravageurs du cotonnier.

Il apparait donc dans cette étude que les extraits de plantes sont efficaces sur les chenilles ce qui est en phase avec plusieurs travaux précédents dont celui de Tounou et al. (2012) qui ont montré que les extraits aqueux de neem et de *H. suaveolens* à 20% permettent de contrôler efficacement les chenilles de *Maruca vitrata* au même titre que la cyperméthrine (250g). Ce même extrait de *H. suaveolens* permet de lutter efficacement contre les ravageurs de maïs, notamment *Mussidia nigrivenella* Ragonot (Lepidoptera: Pyralidae) (Agboka et al., 2009). Aussi, une étude sur le niébé a démontré que le jus de neem a permis une réduction importante du nombre de *Maruca vitrata* (lépidoptère) et *Clavigralla tomentosicollis (punaise)* ainsi que les dégâts qui leur sont associés (Harouna et al., 2019). L'effet insecticide de *H. suaveolens* a également été évoqué par Tano et al. (2019), qui ont rapporté l'efficacité d'extrait aqueux des feuilles sur les chenilles de *Hellula undalis* (Lepidoptera : Pyralidae), ravageur de la culture du chou.

D'autres groupes de ravageurs ont fait l'objet d'études similaires. Selon Gbedomon et al. (2012), l'effet du neem et de l'*Hyptis* est essentiellement répulsif et quelquefois inhibiteur des facultés de communication chez les nuisibles en particulier ceux de la famille des Formicidae qui se trouvent totalement désorientés, désorganisés et dispersées après traitements. Les plantes

odorantes appartenant à différentes familles et surtout aux Limiacées (*Hyptis*) exercent une activité insecticide sur le coléoptère des denrées stockées *Acanthocelides obtectus* (Khelfane 2014). Amtul (2014) a rapporté que *A. indica* renferme des composés agissant comme des inhibiteurs de l'enzyme digestive alpha-amylase chez le Coléoptère *Tribolium castaneum*. Les extraits aqueux de graines de neem et de feuilles de *Hyptis*, se sont révélés efficaces dans la lutte contre le virus de la panachure du piment vert et de son vecteur (pucerons) (Biao et al., 2018). Les travaux de Mondédji et al. (2014a) rapportent que les préparations à base de feuilles de neem ont montré des propriétés aphicides (antibiose) et un comportement anti-fourrage (antixénose) chez le puceron *Myzus persicae.* Les études d'Adda et al. (2011) ont démontré que les extraits aqueux des feuilles et tiges de *H. suaveolens* peuvent agir comme un inhibiteur du développement des différentes étapes de *Sesamia calamistis* sur maïs. En effet, Les travaux de Kossou et al. (2000) ont démontré que l'extrait aqueux des feuilles fraîches de *H. suaveolens* peut exercer une action létale sur les adultes et les larves. Les travaux d'Azeez et al. (2018) ont indiqué que la poudre de *H. suaveolens* provoque une mortalité importante (100%) chez *Callosobruchus maculatus* après 7 jours de traitement ainsi qu'une faible oviposition et émergence des bruches adultes dans les graines de niébé traitées avec cette poudre.

Toutefois, il a été constaté que pour certaines dates d'observation le nombre de chenilles de *H. armigera* observé sur les parcelles non traitées est statistiquement identique à celui obtenu sur les parcelles traitées avec le produit chimique et les extraits de plante. Cette observation serait liée à la faune auxiliaire qui favoriserait la diminution des effectifs de *H. armigera* sur les parcelles traitées avec les extraits de plantes moins toxiques que CONQUEST (Yarou et al., 2017) et celles non traitées. Ce phénomène permettrait aussi de baisser le niveau d'infestations dans les parcelles non traitées qui donnerait un nombre moyen de larves statistiquement similaires (Mondédji et al., 2016a).

Nos résultats ont révélé aussi que l'effet des extraits de plantes sur les chenilles de *H. armigera* par rapport au témoin non traité n'est pas décelé lorsque les infestations sont beaucoup trop faibles (inférieur à 1,8 /30 plants).

L'insecticide CONQUEST C constitué de l'association d'un néonicotinoïde et d'un pyréthrinoïde a été efficace dans la lutte contre les chenilles de *H. armigera* de cotonnier mais pas à toutes les périodes d'infestations observées. Ce manque d'efficacité à certaines dates pourrait être rapproché du phénomène de résistance de ce Lépidoptère à plusieurs familles d'insecticides notamment les pyréthrinoïdes. En effet, ce phénomène a été démontré dans le cas de *Helicoverpa armigera* en Afrique (Martin et al., 2002).

### V.1.5. Conclusion

Les résultats obtenus au niveau des parcelles de cotonnier sur l'efficacité des extraits aqueux de feuilles de *A. indica* (neem), de *H. suaveolens* et de *A. occidentale* ont montré que, dans les conditions expérimentales rapportées, les traitements réalisés avec ces extraits de plantes ont été efficaces vis-à-vis du Lépidoptère *H. armigera*. La concentration de 29% des différents extraits a été aussi efficace que le témoin de référence CONQUEST C pour contrôler les chenilles de la noctuelle en cas de fortes infestations. Cette capacité des extraits de plantes à réduire le nombre de ravageurs et leurs dégâts, a permis l'obtention de taux de capsules mûres saines équivalents au témoin de référence. Les extraits de feuilles de neem, de *Hyptis* et d'anacarde testés peuvent donc être utilisés dans la culture du coton comme une alternative à l'utilisation abusive des insecticides de synthèse dans la gestion intégrée des insectes ravageurs du cotonnier au Sénégal.

En perspective, il serait important de quantifier la teneur des molécules insecticides contenues dans ces feuilles puis de formuler un biopesticide pour l'usage des producteurs.

## V.2. Efficacité des extraits hydroéthanoliques de *Azadirachta indica* (neem), *Hyptis suaveolens* et *Anacardium occidentale* sur *Helicoverpa armigera*

### V.2.1. Objectif

L'objectif de cette expérimentation est d'étudier l'efficacité d'extraits hydroéthanoliques de feuilles de *Azadirachta indica, Hyptis suaveolens et Anacardium occidentale* sur *H. armigera* au laboratoire et au champ.

### V.2.2. Matériel et méthodes

#### V.2.2.1. Expérimentation au laboratoire

##### V.2.2.1.1. Préparation des extraits hydroéthanoliques

Les extraits hydroéthanoliques ou aqueux ont été obtenus à partir des feuilles de *Azadirachta indica, Hyptis suaveolens* et *Anacardium occidentale.* Les feuilles fraiches de chaque plante ont été récoltées le matin à 2 jours avant chaque traitement. Elles sont finement broyées dans un mortier. Le broyat de chaque plante est ensuite macéré pendant 24h, dans les conditions ambiantes, dans 5 litres d'eau pour avoir des extraits aqueux ou dans 5 litres de solution contenant 70% éthanol (96°) et 30% d'eau pour avoir des extraits hydroéthanoliques (Figure 29).

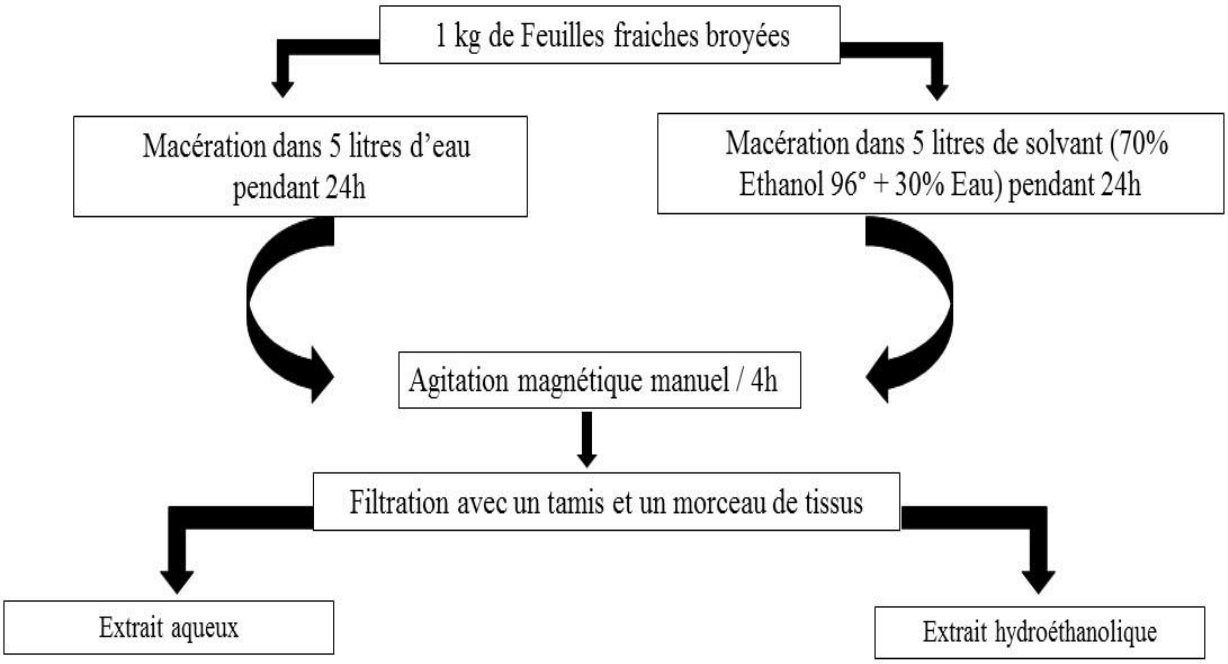


Figure 29. Schéma de préparation des extraits hydroéthanoliques et aqueux de feuilles

**V.2.2.1.2. Objets en comparaison**

Six extraits de plantes sont comparés entre eux et à un témoin non traité pour évaluer leur efficacité à diminuer les populations de chenilles de *Helicoverpa armigera* :

T0 = Témoin non traité

T1 = extrait aqueux Neem

T2 = extrait hydroéthanolique Neem

T3 = extrait aqueux *Hyptis*

T4 = extrait hydroéthanolique *Hyptis*

T5 = extrait aqueux *Anacardium*

T6 = extrait hydroéthanolique *Anacardium*

**V.2.2.1.3. Mode opératoire**

Les essais biologiques sont réalisés à l'aide d'une méthode d'essai biologique par trempage foliaire adaptée de la méthode standard n°7 du Comité de lutte contre la résistance des insecticides (IRAC, 2014). Des disques foliaires de cotonnier (*Gossypium hirsutum*), de cinq centimètres de diamètre, sont immergés pendant 10 s dans les solutions des extraits à éprouver.

Les disques sont ensuite séchés à la température ambiante pendant 30 à 60 minutes et placés dans une boîte de Pétri avec la face adaxiale vers le haut. Cinq larves de troisième stade sont placées sur chaque disque foliaire. Les boîtes de Pétri sont ensuite enveloppées avec du parafilm pour empêcher la dessiccation des feuilles. Six répétitions sont utilisées pour chaque solution test et de contrôle. Les larves traitées sont maintenues à une température constante de 27 ± 2 ° C, à une humidité relative de 60 ± 10%. Les boîtes de Pétri sont recouvertes d'un tissu noir pour éviter le cannibalisme. La mortalité est observée 48 h et 72 h plus tard. Les larves sont considérées comme mortes lorsqu'aucune réponse coordonnée n'est obtenue par stimulation tactile avec une aiguille émoussée. Un test est écarté lorsque la mortalité chez le contrôle dépasse 20%. Le taux de mortalité est calculé en faisant la somme des larves mortes et moribondes, divisé par le nombre total de larves traitées par boite.

Figure 30. Séchage des feuilles de cotonniers découpées après trempage

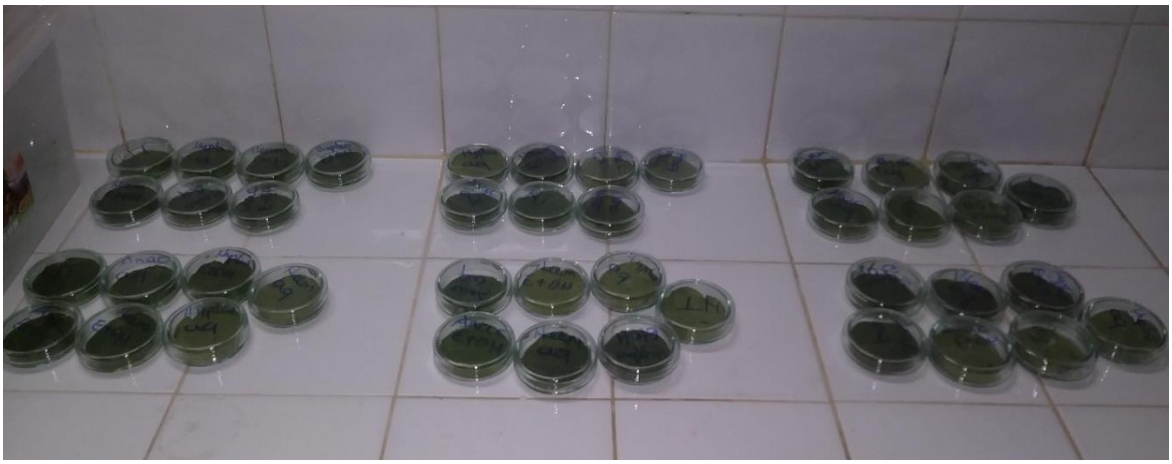

Figure 31. Dispositif expérimental adopté pour les bioessais

**V.2.2.2. Expérimentation en station**

Il consiste à évaluer l'efficacité d'extraits de feuilles hydroéthanoliques de *A. indica, H. suaveolens* et *A. occidentale* sur *H. armigera.* Les extraits hydroéthanoliques ont été comparés

à un témoin non traité, un insecticide chimique, la formulation TIHAN (Flubendiamide + Spirotrétamate) et des extraits aqueux de feuilles des mêmes plantes.

**V.2.2.2.1. Matériel physique**

Le matériel physique utilisé est celui décrit dans la partie V.1.2.1.

**V.2.2.2.2. Matériel végétal**

La variété utilisée est celle décrite dans le chapitre V.1.2.2.

**V.2.2.2.3. Matériel biologique**

L'évaluation de l'efficacité biologique des extrtaits hydroéthanoliques a été réalisée sur l'ensemble des stades larvaires de *Helicoverpa armigera*.

**V.2.2.2.4. Les insecticides chimiques de synthèse utilisés**

La caractérisation de la formulation chimique de référence qui a été employée dans les essais est précisée dans le tableau 20.

Tableau 20. Caractéristiques de différentes insecticides utilisés (British crop protection council, 2000-2001 ; Bayer CropScience 2013 ; SPIA, 2014 ; CSP, 2017)

| Nom commercial | Matière active | Famille chimique | Insectes cibles | Mode d'action | Dose l/ha |
|---|---|---|---|---|---|
| **TIHAN 175 O-Teq** | **Flubendiamide (100 g/l)** | Acide diamide phtalique | Lépidoptères Pucerons Mouches blanches Acariens | Agit par ouverture des récepteurs ryanodine | 0,2 |
| | **Spirotrétamate (75 g/l)** | Kétoénoles | | Agit par contact et ingestion et par double systémie. Il inhibe la biosynthèse des lipides (ACCase) | |

**V.2.2.2.5. Dispositif expérimental**

L'essai a été mené au niveau du Point d'Appui à Expérimentation Multi local (PAPEM) de l'ISRA, à Vélingara, durant la campagne agricole de 2018.

Le dispositif expérimental est constitué de blocs de Fisher avec 8 objets répétés 4 fois et des parcelles élémentaires de 8 lignes de 10 m de longueur. L'écartement entre les lignes est de 0,80 m et de 0,20 m entre les plants de mêmes lignes. Un croquis du dispositif expérimental adopté est présenté ci-dessous (Figure 32).

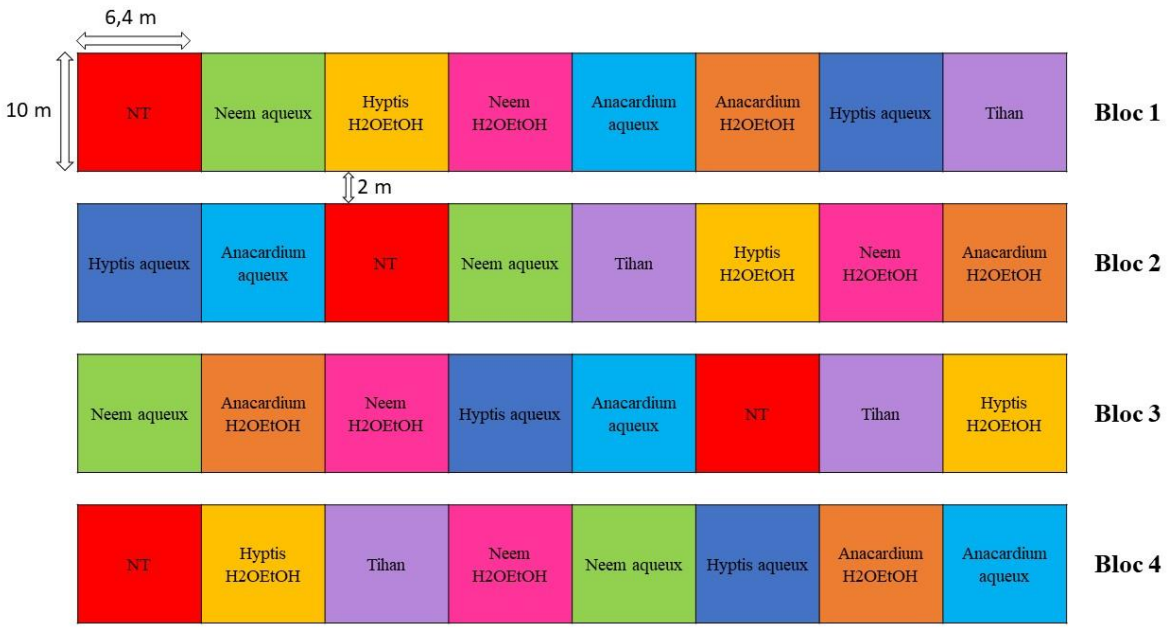


Figure 32. Dispositif expérimental de l'essai en station à Vélingara

Les objets comparés dans cet essai et leurs caractéristiques sont décrits dans le Tableau 21.

Tableau 21. Objets en comparaison

| **Objets** | **Quantité de produit à prélever pour chaque application sur l'ensemble des 4 répétitions (parcelle élémentaire de 48 m$^2$ x 4 répétitions = 192 m$^2$)** |
|---|---|
| Non traité | - |
| Tiham 175 O-Teq (Flubendiamide 100+Spirotrétamate 75) | 0,2 l/ha |
| Extrait aqueux de feuilles de ***Azadirachta indica*** | 1,5 litre extrait |
| Extrait hydroéthanolique de feuilles de ***Azadirachta indica*** | 1,5 litre extrait |
| Extrait aqueux de feuilles de ***Hyptis suaveolens*** | 1,5 litre extrait |
| Extrait hydroéthanolique de feuilles de ***Hyptis suaveolens*** | 1,5 litre extrait |
| Extrait aqueux de feuilles de ***Anacardium occidentale*** | 1,5 litre extrait |
| Extrait hydroéthanolique de feuilles de ***Anacardium occidentale*** | 1,5 litre extrait |

#### V.2.2.2.6. Traitements phytosanitaires des parcelles de cotonniers

Au total, 6 traitements ont été effectués pour chaque produit du 31ème au 122ème jour après levée (JAL) des cotonniers. L'intervalle entre traitement est de 14 jours.

La technique pour la préparation de la bouillie est faite selon le procédé décrit dans la partie V.1.2.7.

#### V.2.2.2.7. Observations et variables mesurées

##### V.2.2.2.7.1 Relevés de l'entomofaune

Les relevés directs sont réalisés sur 30 plants par parcelle élémentaire pris par groupe de 5 plants de façon consécutive sur les 6 lignes centrales, selon la méthode de la diagonale (Figure 47) du 30ème au 122ème jour après levée (JAL) des cotonniers. Les observations sont effectuées chaque semaine, à la veille et à 3 jours après traitements (T-1, T+3, T+7, T+13) qui correspond à la veille du traitement suivant. Le nombre de chenilles de *Helicoverpa armigera* présent est enregistré en examinant le plant en entier.

##### V.2.2.2.7.2 Analyses sanitaires des capsules vertes (ASCV)

L'analyse sanitaire des capsules vertes a été décrite dans la partie V.1.2.8.2.

##### V.2.2.2.7.3 Analyse sanitaire des capsules mûres (ASCM)

L'analyse sanitaire des capsules mûres a été décrite dans la partie V.1.2.8.3.

#### V.2.2.2.8. Traitements des données

Les différentes données obtenues après les expérimentations au laboratoire et au champ ont été analysées par le logiciel R (version 3.5.2). Le modèle linéaire généralisé mixte (GLMM) a été utilisé pour ressortir des différences significatives des facteurs 'objet' (= traitement) et répétition suivant le nombre de chenilles (distribution de poisson ou quasipoisson) et le pourcentage de capsules vertes et mûres (la famille binomial ou quasibinomial). Pour les capsules mûres saines et vertes, le modèle linéaire généralisé (GLM) a été utilisé avec la distribution binomial des erreurs ou structure quasibinomial. Dans le cas où les analyses révèlent des différences significatives entre les objets, les moyennes (± écartype) sont comparées grâce aux tests de comparaisons multiples de Tukey à 5% de probabilité ($p>0.05$).

### V.2.3. Résultats

#### V.2.3.1. Résultats des expérimentations effectuées au laboratoire

Les résultats des bioessais concernant l'efficacité biologique des extraits aqueux et hydroéthanoliques de neem, de *Hyptis* et d'*Anacardium* indiquent une différence significative

entre les traitements (Figure 33). Au bout de 48 et 72 heures, l'analyse statistique des taux de mortalité, a montré un effet très hautement significatif des extraits aqueux et hydroéthanoliques sur la survie des chenilles de *H. armigera* par rapport au témoin « non traité ». Par ailleurs l'action insecticide des six extraits varie en fonction du temps. En effet, à 48h après traitement, la mortalité du ravageur n'a pas dépassé 50%. Elle a varié de 20 à 44% selon les traitements. Toutefois, à 72h après traitement, l'extrait hydroéthanolique de neem montre une mortalité de 68% suivi des extraits aqueux de neem et hydroéthanolique de *Hyptis* avec une mortalité de 56% chacun. Par contre, l'extrait aqueux de *Hyptis* et les extraits aqueux et hydréthanolique de *Anacardium* n'ont provoqué que moins de 50% (40 à 48%) de mortalité même à 72h après le traitement.

Il a été constaté une baisse de l'alimentation des chenilles au niveau des feuilles traitées avec les extraits de neem comparativement à celles traitées avec les extraits de *Hyptis* et d'*Anacardium* ainsi que celles non traitées.

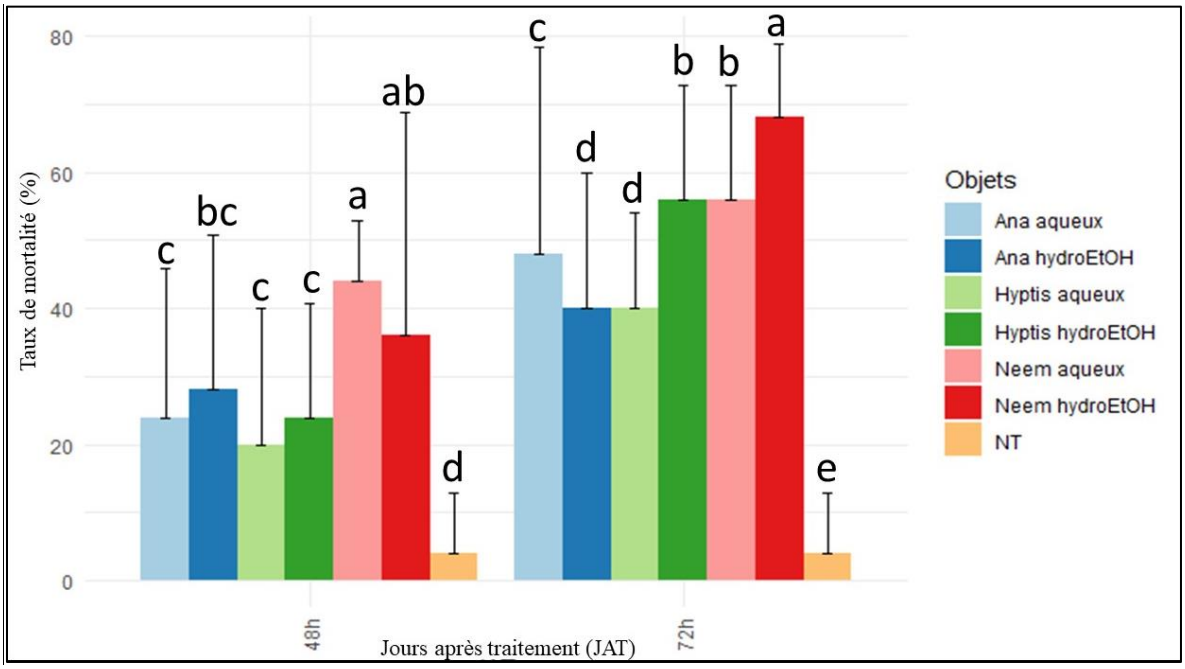


Figure 33**.** Taux moyens de mortalité larvaire pour chaque traitement. *Pour une date donnée (JAT), les barres surmontées d'une même lettre ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5% selon le test de Tukey.*

### V.2.3.2. Résultats des expérimentations effectuées en station

#### V.2.3.2.1. Effet des extraits hydroéthanoliques de feuilles de *A. indica* (neem), *H. suaveolens* et *A. occidentale* sur les infestations de chenilles de *H. armigera*

De manière générale, il ressort de l'analyse de la figure 34 que l'application des extraits hydroéthanoliques et aqueux de feuilles de neem, de *Hyptis* et d'*Anacardium* a provoqué une baisse significative du niveau de la population larvaire de *H. armigera* comparativement à celui du témoin non traité (P ; Tukey ; seuil=5%).

Le niveau de populations du témoin « non traité » est nettement plus élevé que celui des extraits de plantes et du témoin chimique (TIHAN). A chaque 3 jours après traitement, une baisse du niveau de population des chenilles est constatée. L'évolution du nombre de chenilles connaît une fluctuation à partir de la période du début de floraison. Le premier pic (3,25 chenilles / 30 plants), plus important, est observé à 51 JAL (T2 + 7). A cette date, les extraits hydroéthanoliques des trois plantes et l'extrait aqueux de *Anacardium* offre un niveau d'infestation plus bas (1 à 1,75 chenilles / 30 plants) que celui du témoin chimique TIHAN (2,75 chenilles / 30 plants). Le second pic apparaît à la période de capsulaison (65 JAL / T3 + 7). Le nombre moyen de chenilles a ensuite baissé progressivement à partir du 61 JAL (T3 + 3) pour les parcelles traitées et à 72 JAL pour les parcelles non traitées.

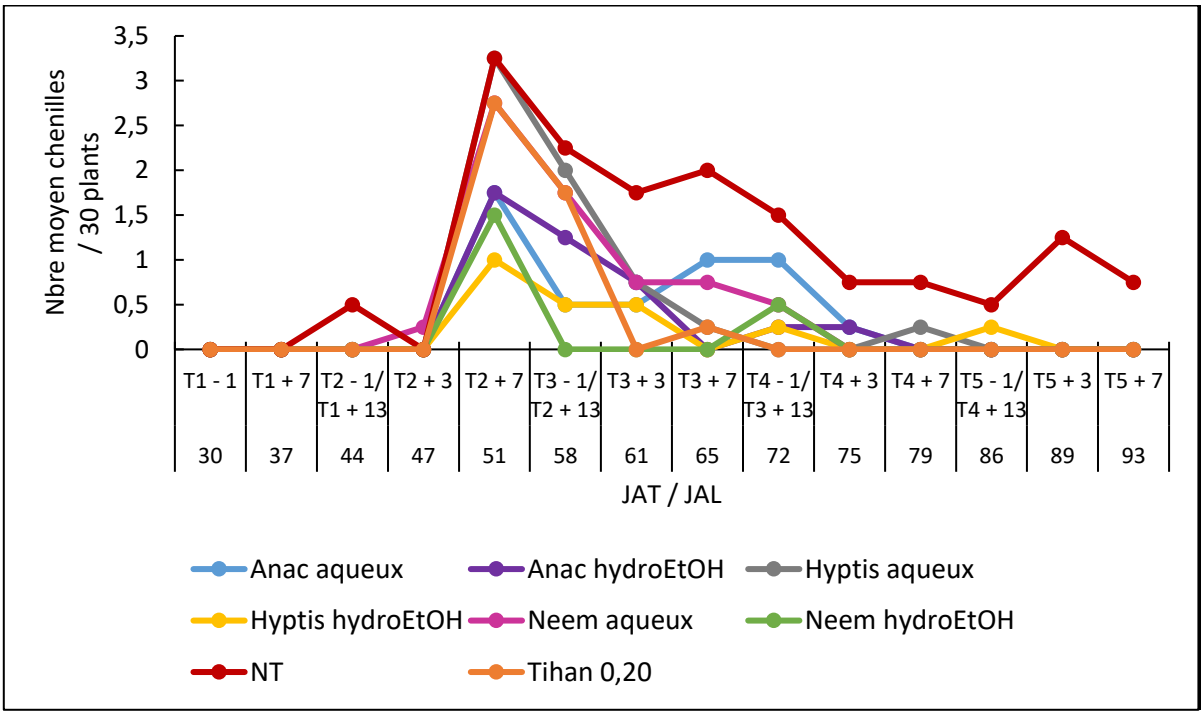


Figure 34**.** Fluctuation temporelle des infestations larvaires de *Helicoverpa armigera* sur plants en fonction des différents traitements en station**.** *JAL = Jour Après Levée ; JAT = Jour Après Traitement ; T1 = traitement 1 ; T2 = traitement 2 ; T3 = traitement 3 ; T4 = traitement 4 ; T5 = traitement 5. T**n** - 1 = 1 jour avant Traitement **n** ; T**n** + 7 = Traitement **n** + 7 jours ; T**n** + 13 = Traitement **n** + 13 jours.*

L'analyse statistique avec le modèle linéaire généralisé montre des différences significatives en fonction des dates de forte infestation comme l'illustre le tableau 22. A 51 JAL correspondant à 7 jours après le deuxième traitement ($JAT_2$), les extraits hydroéthanoliques de feuilles de neem, de *Hyptis* et d'*Anacardium* ainsi que l'extrait aqueux d'*Anacardium* ont eu un effet significatif sur les chenilles de *Helicoverpa armigera* par rapport au témoin chimique et au témoin « non traité ». Il est observable qu'à l'exception des extraits aqueux de neem et de *Hyptis*, les extraits ont été plus efficaces que TIHAN la référence chimique. A 58 JAL (14 $JAT_2$), les parcelles traitées avec les extraits hydroéthanoliques de neem et de *Hyptis* et l'extrait aqueux d'*Anacardium* présentent un niveau d'infestation significativement moins élevé que ceux des parcelles non traitées. Ils offrent un meilleur contrôle que le témoin chimique sur les attaques de *H. armigera*. Par contre l'extrait aqueux de neem et l'extrait hydroéthanolique de *Anacardium* sont statistiquement égales au témoin chimique TIHAN. A 65 JAL correspondant au 7$^{ème}$ jour après la troisième application, les extraits hydroéthanoliques des trois plantes et l'extrait aqueux de *Hyptis* ont permis de réduire significativement les populations larvaires du ravageur par rapport au témoin absolu « non traité ». Ils ont été aussi efficaces que le témoin chimique TIHAN. Dans l'ensemble les extraits aqueux ont une efficacité intermédiaire entre les autres traitements et le témoin non traité.

Les extraits hydroéthanoliques de neem et de *Hyptis* s'avèrent plus efficaces sur les larves de *H. armigera*, suivi par les extraits hydroéthanolique et aqueux de *Anacardium* et enfin les extraits aqueux de neem et de *Hyptis*.

Tableau 22**.** Effet des extraits hydroéthanoliques et aqueux sur le niveau moyen des populations de chenilles de *Helicoverpa armigera* en fonction des dates de forte infestation et de traitement

| | **Nombre de chenilles sur 30 plants** | | |
|---|---|---|---|
| **JAL** | **51** | **58** | **65** |
| **JAT** | **T2 + 7** | **T3 - 1/ T2 + 13** | **T3 + 7** |
| **NT** | 3,3 ± 0,5c | 2,3 ± 0,5b | 2 ± 0,8b |
| **TIHAN 0,20** | 2,75 ± 1,0bc | 1,75 ± 0,5ab | 0,25 ± 0,5a |
| **Neem aqueux** | 2,8 ± 1,0bc | 1,8 ± 1,0ab | 0,8 ± 1ab |
| **Neem hydroEtOH** | 1,5 ± 0,6a | 0,0 ± 0a | 0 ± 0a |
| **Hyptis aqueux** | 3,3 ± 1,0c | 2,0 ± 0,8b | 0,3 ± 0,5a |
| **Hyptis hydroEtOH** | 1 ± 0,8a | 0,5 ± 0,6a | 0 ± 0a |
| **Anac aqueux** | 1,8 ± 0,5ab | 0,5 ± 0,6a | 1 ± 0ab |
| **Anac hydroEtOH** | 1,8 ± 1,0ab | 1,3 ± 1,0ab | 0 ± 0a |

*Les valeurs suivies d'une même lettre dans une colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% selon le test de Tukey. Chaque valeur représente une moyenne du nombre de chenilles enregistrées dans chaque niveau de traitement. JAL : Jour Après Levée ; JAT : Jour Après Levée.*

#### V.2.3.2.2. Effet des extraits hydroéthanoliques de feuilles de *A. indica* (neem), *H. suaveolens* et *A. occidentale* sur les dégâts sur capsules vertes de cotonniers

Il ressort du tableau 23 que d'après l'analyse par le modèle linéaire généralisé, les pourcentages de capsules vertes attaquées observées ont été considérablement plus importants dans les parcelles non traitées pour les quatre analyses sanitaires réalisées (80 à 101 JAL). Les dégâts ont varié de 12 à 26% dans les parcelles traitées contre 37 à 47% dans celles non traitées. Au 80$^{ème}$ JAL, le témoin chimique TIHAN offre une meilleure protection des capsules vertes. Néanmoins les extraits de plantes ont permis de réduire significactivement les dégâts par rapport au témoin non traité. Les extraits hydroéthanoliques et aqueux de *Hyptis* et de *Anacardium* offrent une protection des capsules vertes équivalente contre les dégâts du ravageur. Par contre, l'extrait hydroéthanolique de neem est plus efficace que l'extrait aqueux de neem. A partir du 87$^{ème}$ JAL, les extraits de plantes ont permis de réduire significativement les dégâts par rapport au témoin non traité à l'exception de l'extrait aqueux de *Hyptis*. Les extraits hydroéthanoliques de feuilles de neem, de *Hyptis* et d'*Anacardium* sont statistiquement équivalents au témoin chimique TIHAN dans la réduction du taux de dégâts causés par *H. armigera*. Les extraits aqueux de neem et d'anacarde se sont révéles statistiquement similaires aux extraits hydroéthanoliques mais moins performants que le témoin chimique. Ces mêmes tendances sont observées au 94$^{ème}$ JAL sauf que l'extrait aqueux de *Anacardium* est aussi efficace que le témoin de référence TIHAN contrairement à l'extrait hydroéthanolique de *Anacardium*. Au 101$^{ème}$ JAL, les dégâts des chenilles du ravageur sur les capsules vertes sont significactivement réduits par les applications des différents extraits de plantes. Les extraits hydroéthanoliques de *Hyptis* et de *Anacardium* équivalents au témoin chimique TIHAN offrent une meilleure protection des capsules vertes. Toutefois, aucune différence significative n'est constatée entre les extraits hydroéthanoliques et les extraits aqueux de neem et de *Anacardium* contrairement aux extraits de *Hyptis*.

Tableau 23**.** Taux moyens des capsules vertes attaquées par les chenilles de *Helicoverpa armigera* pour chaque traitement.

| | **Pourcentage de capsules vertes attaquées** | | | |
|---|---|---|---|---|
| **JAL** | **80** | **87** | **94** | **101** |
| **NT** | 46,5 ± 4,7d | 46,3 ± 3,9c | 39 ± 3,6c | 37,3 ± 1,9e |
| **TIHAN 0,20** | 12,8 ± 1,3a | 14,5 ± 4,5a | 12,3 ± 0,5a | 13,8 ± 1a |
| **Neem aqueux** | 22,3 ± 5,4c | 21,5 ± 4,1b | 19,8 ± 4,9b | 19 ± 2,9cd |
| **Neem hydroEtOH** | 18,5 ± 1,7b | 17 ± 2,3ab | 16,8 ± 1ab | 17 ± 1,6bc |
| **Hyptis aqueux** | 22 ± 3,2bc | 22 ± 5,6c | 20,3 ± 4,1c | 22 ± 1,4d |
| **Hyptis hydroEtOH** | 26 ± 4,8bc | 17,3 ±2,6ab | 17,5 ± 0,6ab | 14,8 ± 0,5ab |
| **Anac aqueux** | 20,5 ± 2,5bc | 22,8 ± 2,9b | 18 ± 4,1ab | 17,5 ± 1bc |
| **Anac hydroEtOH** | 25 ± 4,8c | 17,3 ± 2,5ab | 19 ± 4,7b | 16 ± 1,4abc |

*Les valeurs suivies d'une même lettre dans une colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% selon le test de Tukey. Chaque valeur représente le pourcentage moyen de capsules vertes attaquées enregistrés dans chaque niveau de traitement. JAL : Jour Après Levée ; JAT : Jour Après Levée.*

#### V.2.3.2.3. Effet des extraits hydroéthanoliques de feuilles de *A. indica* (neem), *H. suaveolens* et *A. occidentale* sur l'état sanitaire des capsules mûres de cotonniers

Le dépouillement des capsules mûres saines montre un taux de capsules saines significativement plus importants dans les parcelles traitées (Tableau 24). Les pourcentages de capsules mûres saines trouvées dans les parcelles qui ont reçu les traitements avec les extraits hydroéthanoliques sont statistiquement similaire à celui obtenu chez le témoin chimique TIHAN. Les extraits de plantes ne sont pas significativement différents entre eux. Par contre, les extraits aqueux des trois plantes sont moins efficaces que le témoin chimique dans la protection des capsules mûres.

Tableau 24**.** Taux moyens des capsules mûres saines pour chaque traitement.

| Objets | Pourcentage capsules mûres saines |
|---|---|
| **NT** | 76,7 ± 4,6c |
| **TIHAN 0,20** | 89 ± 0,5a |
| **Neem aqueux** | 86 ± 1b |
| **Neem hydroeth** | 87,4 ± 0,7ab |
| **Hyptis aqueux** | 85 ± 0,5b |
| **Hyptis hydroeth** | 87,8 ± 1,2ab |
| **Ana aqueux** | 83,9 ± 3,9b |
| **Ana hydroeth** | 86,9 ± 0,9ab |

*Les valeurs suivies d'une même lettre dans une colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% selon le test de Tukey. Chaque valeur représente le pourcentage moyen de capsules mûres saines enregistrées dans chaque niveau de traitement. JAL : Jour Après Levée ; JAT : Jour Après Levée.*

### V.2.4. Discussion

Cette étude a porté sur l'effet biocide des extraits hydroéthanoliques et aqueux de neem, de Hyptis et de Anacardium. Au laboratoire, 24 heures après le traitement, les extraits aqueux et hydroéthanoliques entrainent une mortalité de moins de 50%. Après 72h, le traitement par les extraits hydroéthanoliques de neem et de *Hyptis* donnent les meilleurs résultats avec une mortalité de 56% et 68% respectivement. Bien que l'effet anti-appétant des extraits de plantes n'ait pas été étudié, il a été constaté que les chenilles consommaient moins les feuilles traitées avec les extraits de neem. Ces résultats sont conformes à ceux observés par de nombreux auteurs ayant testé l'action d'extraits de plantes chez les lépidoptères et beaucoup d'autres groupes d'insectes. Les travaux de Raja et al. (2005) ont rapporté que l'extrait d'acétate éthyle de feuilles de *H. suaveolens* a une activité anti-alimentaire et ovicide sur les lépidoptères *H. armigera* et *Spodoptera litura* sur le coton. Selon les auteurs, la nature bioactive de l'extrait semble être due à la présence du groupe énolique –OH en liaison avec l'éther. Cela a été également observé avec les extraits de neem. En effet, Rafiq et al. (2012) ont montré que différentes préparations d'extraits de neem ont donné des résultats très significatifs avec près de 100% de mortalité sur des larves de 3$^{ème}$ stade de *Pectinophora gossypiella*, *Helicoverpa armigera* et *Spodoptera litura*, 2 à 3 jours après traitements. Aussi, les larves ont montré un comportement répulsif, une diminution de poids et des dommages négligeables à la surface des feuilles de coton. Ma et al. (2000) ont observée une mortalité élevée des larves néonates et de deuxième stade de *Helicoverpa armigera* (Hübner), nourries pendant 4 jours avec des feuilles de cotonniers

aspergés d'extraits de neem formulés (concentré émulsifiable à 3% d'azadirachtine). Par ailleurs, les mêmes auteurs ont observé les effets physiologiques sur les larves survivantes qui se sont traduits par un retard de croissance, une réduction du poids larvaire et pupal et une prolongation du développement. Gopalakrishnan et al. (2011) ont testé plusieurs extraits de plantes y compris le neem qui ont causé une mortalité de 42% à 86% des larves de *H. armigera* après 96 heures et une réduction de poids larvaire allant de 32 à 71%. Mondédji et al. (2014a) ont également démontré en laboratoire que l'extrait aqueux et hydroéthanolique des feuilles de neem ont entrainé 95% de mortalité de nymphe de *Myzus persicae* ainsi qu'une diminution du taux de survie et de fécondité des adultes. L'activité insecticide et anti-appétante de l'extrait de neem a également été évoqué par Mondédji et al. (2016b) sur des larves de 4$^{ème}$ stade de *Plutella xylostella* en laboratoire. Les larves ont consommé des surfaces de feuilles de chou traitées à l'extrait de neem et la consommation a été de 271,67 ± 47.64 mm$^2$ alors qu'elle a été de 309,50 ± 35,57 mm$^2$ sur le témoin. Les travaux de recherche de Koné et al. (2009) ont montré que la mortalité des populations de *Anopheles gambiae* avec les extraits organiques à base de feuilles de *H. suaveolens* est très faible après 24 H d'exposition à 500 µg/ml mais l'extrait éthéré se distingue par une mortalité de 84 %. En revanche avec une dose élevée (1000µg/ml), l'auteur a observé une activité larvicide totale avec les extraits méthanoliques et éthéré des feuilles de *Hyptis suaveolens* au bout de 24 H tandis que l'extrait dichlorométhane a présenté une mortalité quasiment totale de 97 %.

En revanche, les activités biologiques des extraits hydroéthanoliques de *H. suaveolens et Anacardium occidentale*, dans le contrôle biologique de *H. armigera* sont encore très peu rapportées par rapport au neem.

Les résultats obtenus dans les parcelles d'essai ont montré que les traitements avec les extraits de plantes en général et ceux avec les extraits hydroéthanoliques en particulier, ont été efficaces sur les chenilles de *H. armigera*. Par ailleurs, l'analyse des niveaux d'infestation révèle que les extraits hydroéthanoliques de neem et de *Hyptis* ont été plus efficaces que ceux d'anacarde par rapport au témoin non traité comme le démontre les tests au laboratoire. Les résultats concernant l'état des capsules vertes de cotonnier ont montré que les extraits hydroéthanoliques ont permis de contrôler efficacement les dégâts causés par le ravageur au niveau des parcelles de cotonnier. La situation est similaire pour les fruits mûrs de cotonnier où on observe des pourcentages de capsules mûres saines considérablement plus élevées que ceux obtenus sur les parcelles non traitées. Ces pourcentages sont statiquement identiques à ceux enregistrés sur les parcelles traitées avec le produit chimique. Nos résultats corroborent ceux deTraoré et al. (2015) sur les larves de *H. armigera* et les Thrips, au Burkina Faso. Ils ont montré que l'extrait

hydroéthanolique de neem donne des résultats sensiblement proches de ceux du produit chimique (DECIS = detaméthrine), notamment sur les larves de *H. armigera*, les Thrips et le rendement fruits sains à l'hectare de la tomate. L'application des extraits de neem dans les parcelles de tomate entraine de faibles populations de larves de l'ordre de 3 contre 9 chez le témoin. Les résultats de la présente étude vont dans le même sens que ceux de Mondédji et al. (2014b) qui ont montré que les extraits aqueux et hydroéthanoliques de neem ont été efficaces pour le contrôle d'autres d'insectes ravageurs du chou dont les lépidoptères *Plutella xylostella*, *Hellula undalis* et *Lipaphis erysimi* et l'amélioration du rendement. D'après ces auteurs, les résultats obtenus ont montré que l'extrait hydroéthanolique des feuilles de neem a été le meilleur produit de traitement phytosanitaire. L'effet des extraits de feuilles de *H. suaveolens* sur les chenilles du ver de la capsule pourrait s'expliquer par la présence de certains composés terpéniques tels que le 1,8-cinéol, le linalol et le terpinène-4-ol dans sa composition chimique (Johnson et al., 2018).

### V.2.5. Conclusion

Au laboratoire comme au champ, les résultats ont révélé un meilleur contrôle des chenilles de la noctuelle par les extraits hydroéthanoliques de neem et de *Hyptis* que ceux d'Anacardium quoiqu'ils aient permis une bonne protection des capsules vertes et mûres. Les résultats de ces expérimentations indiquent une possibilité d'utilisation des extraits hydroéthanoliques de *A. indica H. suaveolens* et *A. occidentale* dans les programmes de lutte contre les ravageurs du cotonnier en conditions de champ. Toutefois, la cherté de l'alccol dans la préparation des extraits éthanoliques peut présenter une limite pour les paysans. Des essais de réduction des quantités d'alcool impliquées s'avèrent nécessaires pour apprécier les limites de leur efficacité.

# CHAPITRE VI : IMPACT DES EXTRAITS DE PLANTES SUR LA FAUNE AUXILIAIRE

## VI.1. Introduction

Les auxiliaires sont des ennemis naturels de ravageurs des cultures. Ce sont des prédateurs, des parasites ou encore des agents de certaines maladies qui détruisent les nuisibles. Ce sont aussi les insectes pollinisateurs, responsables de la fécondation d'un grand nombre de plantes cultivées. Les ennemis naturels jouent un rôle important dans le contexte de la protection intégrée car ils permettent de réguler un certain nombre de ravageurs clefs des cultures (ECOPHYTO, 2014). Dans le cas cité par Ouedraogo et al. (2008) realtif à la culture du coton, les ennemis naturels les plus importants sont les coccinelles, les araignées, les chrysopes, les fourmis, les guêpes parasites et les punaises.

A travers l'utilisation d'insecticides chimiques de synthèse, des effets directs sur les espèces sensibles mais aussi des effets indirects dus aux relations proies-prédateurs et aux phénomènes de compétition sont notés. Au cours des trois dernières décennies, des extraits de plantes ont été utilisés comme alternatives aux pesticides de synthèse, car ils sont considérés comme n'affectant pas l'environnement et favorables aux ennemis naturels (Aggarwal et Brar, 2006). C'est dans ce cadre que s'inscrit cette étude qui a pour but d'évaluer l'impact des extraits aqueux et hydroéthanoliques de *A. indica, H. suaveolens* et *A. occidentale* sur la faune auxiliaire des ravageurs du cotonnier au Sénégal.

## VI.2. Méthodologie : dispositif expérimental et échantillonnage

Deux expérimentations ont été menées en milieu semi contrôlé. En 2015 et 2016, l'essai mise en place à Velingara, Syllacounda et Dialacoto à consister à évaluer l'impact des extraits aqueux de feuilles de *Azadirachta indica, Hyptis suaveolens et Anacardium occidentale* sur la faune auxiliaire. Le deuxième essai a été mise en place en 2018 à Vélingara. Il consistait à évaluer l'impact d'extraits de feuilles hydroéthanoliques de *A. indica, H. suaveolens et A. occidentale* sur la faune auxiliaire. Le dispositif expérimental adopté pour cette étude est un bloc à randomisation complète ou bloc de Fisher à quatre répétitions. Chaque parcelle élémentaire comporte 8 lignes de culture de 10 m dont les six (06) centrales sont traitées. Le schéma cultural est de 80 cm x 20 cm, c'est à dire un écartement de 80 cm entre les lignes et 20 cm entre les poquets. L'écartement entre les blocs est de 2 m. Les objets traités avec les extraits de plantes sont comparés entre eux avec un témoin de référence chimique et un témoin absolu non traité comme indiqué dans le **chapitre V**.

Les relevés de la faune auxiliaire sont réalisés sur 30 plants par parcelle élémentaire pris par groupe de 5 plants de façon consécutive sur les 6 lignes centrales, selon la méthode de la diagonale du 30ème au 122ème jour après levée (JAL) des cotonniers. Les observations des ennemis naturels pour la première expérimentation sont faites chaque semaine et à la veille des traitements (T-1, T+7 et T+13). Pour le deuxième essai, les relevés sont effectués chaque semaine, à la veille et à 3 jours après traitements (T-1, T+3, T+7, T+13). La faune auxiliaire associée aux ravageurs a été recensée sur les plants de cotonniers en comptant le nombre d'individus par groupe d'insectes : les coccinelles (dénombrement des formes larves et adultes), les syrphes (larves et adultes), les araignées (adultes), les chrysopes (adultes), les mantes religieuses (adultes), les forficules (adultes), les parasitoïdes du genre Apanteles (larves) et les fourmis.

## VI.3. Résultats

### VI.3.1. Effet des extraits aqueux de feuilles neem, *H. suaveolens* et *A. occidentale* à concentration 17% et 29% sur la faune auxiliaire

#### VI.3.1.1. Faune auxiliaire recensée au niveau des parcelles non traitées de cotonnier

La figure 35 représente le niveau moyen des insectes qui composent la faune auxiliaire en 2015 et 2016 à Vélingara, Dialacoto et Syllacounda. La faune auxiliaire dénombrée dans les sites d'expérimentation durant les 2 années dans les parcelles non traitées est composée de coccinelles, de syrphes, d'araignées, de chrysopes, de fourmis, de *Phonoctonus*, de mantes religieuses, de forficules et *d'Apanteles*. De façon générale, une variation de la composition et de l'importance de cette faune utile est observée en fonction des sites et de l'année. Ces insectes utiles ont été plus présents en 2016 qu'en 2015 dans les parcelles d'essais. Il y a une prédominance des fourmis, araignées et coccinelles avec une plus grande fréquence dans les sites de Dialacoto et Vélingara contrairement à Syllacounda où leur présence est quasi nulle.

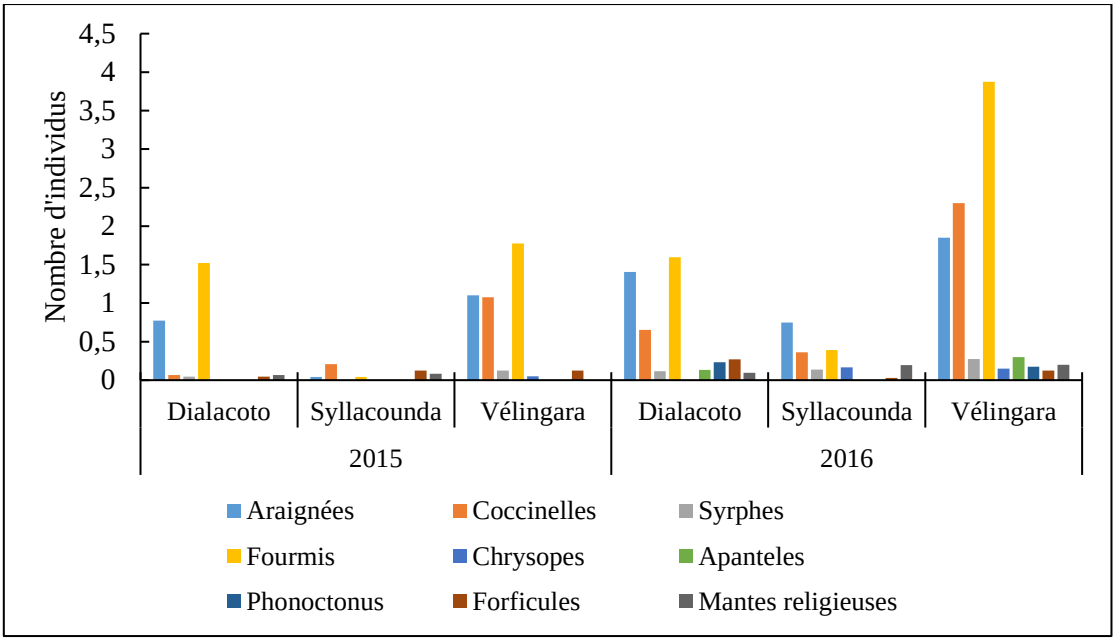


Figure 35. Niveaux moyens d'individus de la faune auxiliaire à Vélingara, Syllacounda et Dialacoto sur les parcelles non traitées

**VI.3.1.2. Effet des extraits aqueux de plantes sur la faune auxiliaire**

L'analyse de l'impact des extraits aqueux de neem, de *Hyptis* et d'*Anacardium* sur la faune auxiliaire a été évaluée sur les coccinelles, les araignées et les fourmis dans les sites de Vélingara (Tableau 25) et Dialacoto (Tableau 26). L'analyse des résultats montre de manière générale que les extraits aqueux de neem, de *Hyptis* et *d'Anacardium* ont un effet intermédiaire entre le témoin non traité et le témoin de référence chimique CONQUEST C sur les coccinelles, les araignées et les fourmis dénombrées. En revanche, pour la plupart des observations, les résultats obtenus sur les parcelles traitées avec les extraits de neem et de *Hyptis* sont statistiquement plus proches du témoin « non traité » que ceux obtenus sur les parcelles traitées avec les extraits d'*Anacardium*, particulièrement à fortes concentrations.

-**A vélingara** (Figure 25), pour les deux années de test, le nombre moyen d'ennemis naturels enregistré sur les parcelles non traitées est significativement plus élevé que celui obtenu sur les parcelles traitées avec le produit chimique CONQUEST C. En 2015, le nombre moyen d'individus de coccinelles enregistré sur les parcelles traitées avec neem 17%, neem 29%, *Hyptis* 17% et *Anacardium* 17% est statistiquement égal à celui trouvé sur les parcelles non traitées. Toutefois, les extraits de *Hyptis* 29% et d'*Anacardium* 29%, équivalents au témoin chimique, ont plus d'effet sur les coccinelles. Les araignées ont été aussi fréquentes dans les parcelles non traitées que sur les parcelles traitées avec neem 17%. D'autre part, aucune

différence significactive n'est observée entre les extraits de plantes et la référence chimique. Par contre, l'extrait de neem 17% est significativement moins toxique que l'extrait d'*Anacardium* 29%. En ce qui concerne les fourmis, le nombre moyen d'individu obtenu dans les parcelles non traitées est statistiquement égal à celui trouvé dans les parcelles traitées avec les extraits de plantes sauf pour *Anacardium* 29%. En 2016, pour les coccinelles, *Hyptis* 17% similaire au témoin non traité offre un meilleur résultat. La même tendance qu'en 2015 est observée pour l'effet de l'extrait aqueux de *Anacardium* 29% sur les coccinelles. Pour cette année, le nombre moyen d'araignées trouvé dans les parcelles traitées avec les extraits de plantes est statistiquement similaire à celui trouvé dans les parcelles non traitées. En outre, une différence significative est observée entre le témoin non traité et les extraits de plantes sur le niveau moyen d'individu des fourmis. Par contre, seuls les extraits auqueux de neem et de *Hyptis* sont significativement différents du témoin chimique.

Tableau 25**.** Effet des extraits aqueux de feuilles de neem, de *Hyptis suaveolens* et de *Anacardium occidentale* sur la faune auxiliaire à Vélingara

| | **Coccinelles** | | **Araignées** | | **Fourmis** | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Objets** | **2015** | **2016** | **2015** | **2016** | **2015** | **2016** |
| **NT** | 1,1 ± 1,3a | 2,3 ± 1,8a | 1,1 ± 1,5a | 1,9 ± 1,6a | 1,8 ± 2,0a | 3,9 ± 2,4a |
| **CONQUEST C** | 0,3 ± 0,8b | 0,6 ± 1,1c | 0,7 ± 1,1bc | 0,9 ± 1,2b | 0,3 ± 0,9b | 1,0 ± 1,9c |
| **Neem 17%** | 0,6 ± 1,1ab | 1,0 ± 1,1bc | 0,9 ± 1,3ab | 1,4 ± 1,7ab | 1,3 ± 1,6ab | 2,4 ± 2,1b |
| **Neem 29%** | 0,7 ± 1,2ab | 0,9 ± 1,4bc | 0,6 ± 1,1bc | 1,5 ± 1,8ab | 1,1 ± 1,8ab | 2,3 ± 2,3b |
| **Hyptis 17%** | 1,1 ± 1,7a | 1,5 ± 1,7ab | 0,8 ± 1,1bc | 1,3 ± 1,4ab | 1,2 ± 1,5ab | 2,1 ± 2,2b |
| **Hyptis 29%** | 0,4 ± 0,8b | 1,1 ± 1,5bc | 0,7 ± 0,9bc | 1,2 ± 1,5ab | 0,9 ± 1,6ab | 2,2 ± 2,3b |
| **Anacardium 17%** | 0,6 ± 1,1ab | 1,1 ± 1,5bc | 0,8 ± 1,2bc | 1,2 ± 1,6ab | 0,8 ± 1,5ab | 1,7 ± 1,9bc |
| **Anacardium 29%** | 0,2 ± 0,6b | 0,7 ± 1,1c | 0,3 ± 0,7c | 1,6 ± 2,0ab | 0,7 ± 1,2b | 1,8 ± 2,0bc |

*Les valeurs suivies d'une même lettre dans une colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% selon le test de Tukey. Chaque valeur représente une moyenne du nombre d'individus enregistrées dans chaque niveau de traitement.*

-**A Dialacoto** (Figure 26), en 2015, le nombre moyen de coccinelles a été très faible et aucune différence significative n'a été remarquée entre les traitements. Les araignées sont statistiquement aussi importantes sur les parcelles traitées avec l'extrait de neem 17% que sur celles non traitées. Par ailleurs, les extraits de plantes sont équivalents entres eux et le témoin chimique sauf l'extrait de neem 17%. Le nombre moyen de fourmis obtenu sur les parcelles traitées avec les extraits de plantes est similaire à celui trouvé sur celles traitées avec le témoin

chimique CONQUEST. Toutefois seul l'extrait de Anacardium 17% est identique au témoin non traité concernant le nombre d'individu de fourmis. En 2016, le nombre de cocinelles enregistré a été aussi important sur les parcelles traitées avec les extraits aqueux de neem et de *Hyptis* que sur celles non traitées contrairement aux extraits aqueux de *Anacardium*. Les araignées ont été significativement moins importantes sur les parcelles traitées que celles non traitées. Aucune différence significative n'est remarquée entre les extraits de plantes. Par contre, seul le neem 29% est indentique au temoin non traité. En ce qui concerne les fourmis, les extraits de neem 29% et de *Anacardium* 17% similaire au témoin non traité et différents du témoin chimique ont donné les meilleurs résultats.

Tableau 26**.** Effet des extraits aqueux de feuilles de neem, de *H. suaveolens* et de *Anacardium occidentale* sur la faune auxiliaire à Dialacoto

| | **Coccinelles** | | **Araignees** | | **Fourmis** | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Objets** | **2015** | **2016** | **2015** | **2016** | **2015** | **2016** |
| **NT** | 0,07 ± 0,3a | 0,7 ± 0,8a | 0,8 ± 0,8a | 1,4 ± 1,4a | 1,5 ± 2,0a | 1,6 ± 2,0a |
| **CONQUEST C** | 0 ± 0a | 0,1 ± 0,3b | 0,0 ± 0,2c | 0,1 ± 0,4c | 0,3 ± 0,6b | 0,3 ± 0,9c |
| **Neem 17%** | 0 ± 0a | 0,3 ± 0,5ab | 0,4 ± 1,1ab | 0,4 ± 0,7bc | 0,7 ± 1,3b | 0,7 ± 1,5bc |
| **Neem 29%** | 0,09 ± 0,3a | 0,3 ± 0,5ab | 0,1 ± 0,3c | 0,5 ± 0,7ab | 0,6 ± 1,3b | 1,0 ± 1,9ab |
| **Hyptis 17%** | 0,02 ± 0,2a | 0,3 ± 0,5ab | 0,2 ± 0,5bc | 0,4 ± 0,7bc | 0,7 ± 1,2b | 0,6 ± 1,4bc |
| **Hyptis 29%** | 0,05 ± 0,2a | 0,3 ± 0,5ab | 0,1 ± 0,5bc | 0,3 ± 0,6bc | 0,4 ± 1,0b | 0,6 ± 1,0bc |
| **Anacardium 17%** | 0,07 ± 0,3a | 0,2 ± 0,4b | 0,2 ± 0,4bc | 0,2 ± 0,4bc | 0,9 ± 1,6ab | 0,8 ± 2,2ab |
| **Anacardium 29%** | 0,07 ± 0,3a | 0,2 ± 0,5b | 0,2 ± 0,7bc | 0,2 ± 0,5bc | 0,6 ± 1,3b | 0,7 ± 1,9bc |

*Les valeurs suivies d'une même lettre dans une colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% selon le test de Tukey. Chaque valeur représente une moyenne du nombre d'individus enregistrés dans chaque niveau de traitement.*

### VI.3.2. Effet des extraits hydroéthanoliques de feuilles de neem, *H suaveolens* et *A. occidentale* sur la faune auxiliaire

La figure 36 représente le niveau moyen des insectes qui composent la faune auxiliaire en 2018 à Vélingara dans les parcelles non traitées. Il ressort de cette figure que les ennemis naturels sont principalement des fourmis (7 individus / 30 plants) et des araignées (5 individus / 30 plants). Elles ont été observées durant toute la campagne avec des variations en fonction du temps. En effet, une très faible fréquence et un nombre assez faible de coccinelles (0,5 individus / 30 plants), de mantes religieuses (0,25 individus / 30 plants) et de phonotonus (0,25 individus / 30 plants) a été noté.

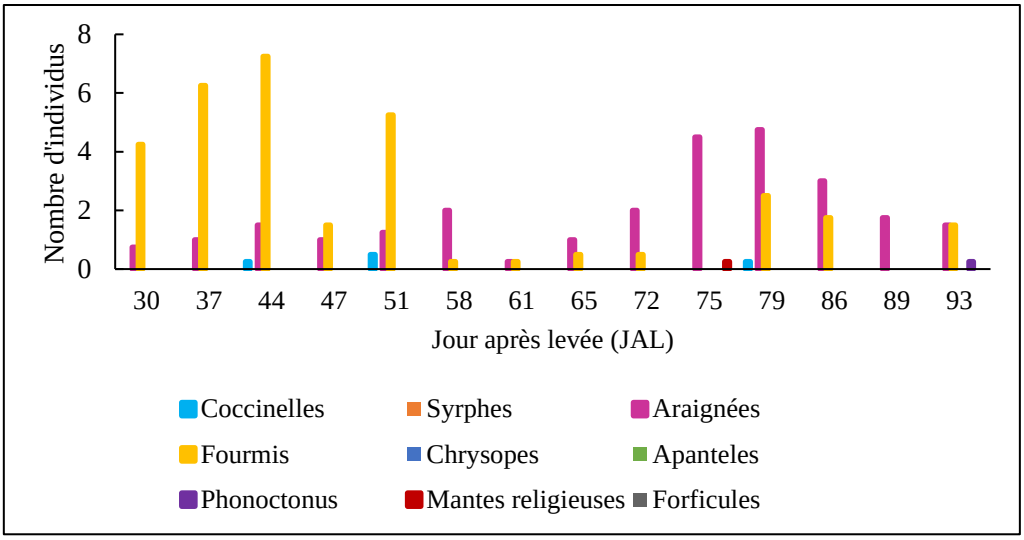


Figure 36. Niveaux moyens de la faune auxiliaire recensée dans les parcelles non traitées en 2018 à Vélingara

Le tableau 27 indique le nombre d'araignées et de fourmis enregistrés sur les parcelles traitées et celles non traitées. L'impact des extraits hydroéthanoliques est fait sur ces 2 insectes qui ont été plus fréquents dans les parcelles de cotonniers à vélingara en 2018.

Tableau 27. Effet des extraits hydroéthanoliques de feuilles de neem, de *H. suaveolens* et de *Anacardium occidentale* sur la faune auxiliaire

| Traitements | **Araignées** | **Fourmis** |
|---|---|---|
| **NT** | 1,9 ± 1,7a | 4,1 ± 9,4b |
| **TIHAN 0,20** | 0,9 ± 1,0b | 2,3 ± 4,4c |
| **Neem aqueux** | 1,0 ± 1,2b | 5,6 ± 12,8a |
| **Neem hydroEtOH** | 0,7± 0,9b | 3,9 ± 8,2b |
| **Hyptis aqueux** | 0,9 ± 1,0b | 3,3 ± 7,7b |
| **Hyptis hydroEtOH** | 0,9 ± 1,0b | 2,5 ± 5,2bc |
| **Anac aqueux** | 1,0 ± 1,2b | 2,4 ± 5,1bc |
| **Anac hydroEtOH** | 0,9 ± 0,9b | 3,5 ± 8,3b |

*Les valeurs suivies d'une même lettre dans une colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% selon le test de Tukey. Chaque valeur représente une moyenne du nombre d'individus enregistrées dans chaque niveau de traitement.*

Les parcelles non traitées ont enregistré plus d'araignées que les parcelles traitées avec les extraits de plantes et le produit chimique TIHAN. Aucune différence significative n'est observée entre le témoin et les extraits de plantes. Les parcelles traitées avec les extraits aqueux de neem hébergent un nombre de fourmis statistiquement plus élevé comparativement au témoin non traité. Le nombre de fourmis observé sur les parcelles traitées avec les extraits

aqueux et hydroéthanoliques est statistiquement similaire à celui enregistré sur les parcelles non traitées. Par contre le produit chimique TIHAN indique une action dépressive sur ces insectes utiles.

### VI.4. Discussion

Les expérimentations au champ ont montré que les extraits aqueux et hydroéthanoliques des feuilles de *Azadirachta indica* (neem), de *Hyptis suaveolens* et de *Anacardium occidentale* ont eu un effet moins toxique que les produits chimiques CONQUEST C et TIHAN sur les insectes utiles recensés (coccinelles, fourmis et araignées) malgré qu'ils aient permis de lutter efficacement contre la noctuelle *H. armigera*. Nos résultats concordent avec beaucoup d'études qui ont démontré la plus faible toxicité des insecticides botaniques sur les ennemis naturels des ravageurs de cultures que les insecticides synthétiques principalement en raison de leur courte activité résiduelle (Cloyd, 2004). Les travaux de Mochiah et al. (2011) sur la gestion des insectes ravageurs du gombo et des aubergines indiquent que les extraits de plantes (l'ail, les feuilles de papaye et le cendre) pourraient réduire considérablement les populations de parasites et maintenir commodément l'équilibre écologique avec leurs ennemis naturels (les coccinelles et les araignées prédatrices). Les études d'Amoabeng et al. (2013) sur l'effet des extraits de plantes (*Ocimum gratissimum, Nicotiana tabacum, Synedrella nodiflora, Ricinus communis, Ageratum conyzoides, Jatropha curcas et Chromolaena odorata*) contre les ravageurs du chou (*Plutella xylostella et Brevicoryne brassicae*) ont montré aussi que la faune auxiliaire (coccinelles, syrphes et araignées) était plus importante dans les parcelles traitées avec les extraits botaniques que celles traitées avec l'insecticide chimique. Comparé à un produit chimique (triazophos), Ulrichs et al. (2001) ont montré qu'une formulation insecticide à base de neem (NeemAzal-T/S) a permis de lutter efficacement contre *Aphis craccivora* et a été moins toxique pour les larves prédatrices de la coccinelle *Menochilus sexmaculatus.* Selon Charleston et al. (2005), les extraits botaniques combinés avec des programmes de lutte biologique permettent un meilleur contrôle des ravageurs. Ces auteurs ont montré que sur les plantes traitées avec les extraits aqueux de feuilles de *Melia azedarach* et des formulations de neem botaniques, le niveau de parasitisme de *Plutella xylostella par* le parasitoïde *Cotesia plutellae* est significativement plus élevé que sur les plantes témoins. Aggarwal et Brar (2006) ont étudié la toxicité de contact et d'alimentation du NeemAzal T / S, comparé à trois insecticides synthétiques (chlorpyriphos, endosulfan et triazophos), sur le parasitoïde *Encarsia sophia.* Ils ont constaté qu'à une concentration de 200 mg de matière active/L, le NeemAzal T / S 1 EC ne montre pas de toxicité de contact ni d'effet sur l'emergence des adultes d'*Encarsia*

*sophia* (Hymenoptera : Aphelinidae). Par contre le chlorpyriphos, l'endosulfan et le triazophos ont présenté une toxicité élevée à la fois par contact et par méthode d'alimentation. Cependant ces auteurs ont averti qu'à des concentrations plus élevées (800 mg/l), ce produit à base de neem pourrait éventuellement avoir un certain effet préjudiciable sur les populations d'ennemis naturels car il y'a eu une réduction significative de l'émergence et une mortalité élevée du parasitoïde au laboratoire en fonction de la dose. Kossou et al. (2007) ont obtenu des extraits aqueux de feuilles de *Hyptis suaveolens* (Linn.) et des écorces de *Khaya senegalensis* (A. Juss), une réduction significative de la ponte chez *Callosobruchus maculatus*, et un meilleur niveau de parasitisme des oeufs par *Uscana lariophaga*. Dhuyo et Soomro (2007) ont mené des études sur l'efficacité des extraits de plante (*Azadirachta indica*, *Calotropis* sp., *Citrullus colocynthis* et extraits de tabac) contre le foreur jaune (*Scirpophaga incertulas*) de la tige du riz. Ils ont rapporté qu'un nombre maximum de différents prédateurs a été trouvé dans la parcelle traitée à l'extrait de neem. Des études ont été rapportées par Ogah et Ogbodo (2012) sur l'efficacité des extraits de graines de neem contre la Cécidomyie de la galle du riz africain. Selon eux, l'abondance d'ennemis naturels non ciblés observée sur les parcelles traitées avec des extraits de graines de neem et sur celles non traitées indique que ce biopesticide n'est pas toxique pour les insectes utiles et qu'il pourrait être compatible avec la lutte biologique. Sow et al. (2012) ont observés que les extraits à base de neem ne sont pas nocifs pour les populations de parasitoïdes. Ils ont également remarqué un taux de parasitisme important du ravageur *Plutella xylostella* par ces ennemis naturels.

### VI.5. Conclusion

Dans la présente étude, les populations d'ennemis naturels principalement les coccinelles, les araignées et les fourmis relevées sur les parcelles traitées avec les extraits de plantes, en particulier le neem et *Hyptis*, étaient similaires à celles constatées sur les parcelles non traitées. Les extraits de plantes semblent être sélectifs et permettraient ainsi aux ennemis naturels de jouer un rôle dans la réduction des populations de ravageurs.

Sur une aire biologique avec des cultures diversifiées, les ennemis naturels aident le producteur à maintenir les attaques de ravageurs. Pour augmenter les populations d'ennemis naturels du cotonnier dans le champ, il est indispensable de préserver les habitats naturels des insectes utiles.

# CHAPITRE VII : CARACTERISATION CHIMIQUE DE L'HUILE ESSENTIELLE DE HYPTIS SUAVEOLENS

## VII.1. Introduction

Afin de mieux cerner l'envergure de l'efficacité des plantes testées et de mettre en évidence la relation entre la composition des molécules actives des plantes et leurs activités insecticides ou répulsives, une caractérisation chimique des extraits a été effectuée. Malheureusement, l'analyse par chromatographie en phase gazeuse puis en spectrométrie de masse (GC-MS) des échantillons d'extraits hydroEtOH de *Azadirachta indica, Hyptis suaveolens* et *Anacardium occidentale* préparés n'a pas permis d'identifier avec exactitude la nature des composés. Néanmoins, la composition chimique de l'huile essentielle de *H. suaveolens* a pu être étudiée par (GC-MS). En effet, il est connu que les Lamiacées sont des plantes qui renferment des huiles essentielles. Dans ce cadre, *Hyptis spicigera* a été utilisée avec succès à Kédougou par Guèye et al. (2016) dans la conservation des épis de maïs, grâce aux effluves libérées par la plante chargées d'huiles essentilles, riches en composés insecticides. Au Sénégal, les inflorescences de *Hyptis suaveolens* (L.) Poit sont introduites sous les matelas pour repousser les moustiques adultes. La plante entière ou la fumée dégagée par sa combustion sont également utilisées comme insectifuge. Cela suppose que cette plante à fort parfum possède une activité biologique qui peut être liée à la présence de certains constituants et/ou composés volatils.

Nous avons, dans une étude préliminaire (cf. Chapitre V), montré que les extraits aqueux et hydroéthanoliques de feuilles de *Hyptis suaveolens* avaient une activité vis-à-vis de *Helicoverpa armigera* par la réduction des populations sur les cotonniers traités avec ces extraits. Ce chapitre a pour objet d'identifier les composés volatifs pouvant être actifs dans l'huile essentielle de *H. suaveolens.*

## VII.2. Méthodologie

### VII.2.1. Extraction de l'huile essentielle de *Hyptis suaveolens*

La distillation par entrainement à la vapeur d'eau a été utilisée pour extraire les huiles essentielles à l'aide d'un appareillage artisanal fabriqué localement (Figure 37). Il est composé d'un générateur de vapeur qui sert aussi d'extracteur, fermé hermétiquement et percé d'un seul trou qui communique avec un tube en cuivre enroulé en serpentin dans un récipient contenant de l'eau glacée. La matière végétale à extraire est placée sur un support en grillage métallique maintenu au-dessus de l'eau dans le générateur de vapeur. L'huile essentielle récupérée a été séchée avec du sulfate de sodium anhydre et conservée au réfrigérateur jusqu'à analyse (Ngom et al., 2014).

Figure 37. Dispositif d'extraction de l'huile essentielle de *Hyptis suaveolens*

### VII.2.2. Analyse de l'huile essentielle de *Hyptis suaveolens* par chromatographie en phase gazeuse (CPG) et couplage avec spectrométrie de masse (CPG/SM)

L'analyse de la composition chimique de l'huile essentielle de *Hyptis suaveolens* a été effectuée au laboratoire de Biochimie Métabolique et Clinique - Institut des Biomolécules Max Mousseron de la faculté de pharmacie de Montpellier par la technique chromatographie en phase gazeuse (CPG) et par la chromatographie en phase gazeuse couplée avec la spectrométrie de masse (CPG/SM). L'échantillon d'huile a été injecté en GPC et GPC-MS pour établir une analyse qualitative et semi quantitative de l'huile essentielle.

#### VII.2.2.1. Analyse par chromatographie en phase gazeuse (CPG)

L'analyse par CPG de l'huile essentielle de *Hyptis suaveolens* a été effectuée avec un appareil de type Agilent, modèle 7820 (Figure 56). Il est équipé d'un détecteur à ionisation de flamme (FID) avec une colonne capillaire HP5 (5% de phényl methylpolysiloxane) (30 m x 0,32 mm, épaisseur de film 0,25 µm). L'injection a été effectuée en mode Split (1:50) avec un volume de 1 µ L d'une solution de CH2Cl2 de 10/100. La température de l'injecteur est de 280°C. La température du détecteur est de 300°C. La programmation de la température du four est de 70°C pendant 2 min, puis 70-250°C à raison de 10°C/min et est maintenue à 250°C pendant 10 min. Le gaz vecteur a un débit de 2 ml/min.

La composition en pourcentage de l'huile essentielle a été calculée par la méthode de normalisation des zones de pic GC-FID, les facteurs de réponse étant considérés comme un pour tous les composés.

### VII.2.2.2. Analyse par chromatographie en phase gazeuse-spectrométrie de masse (CPG-SM)

L'analyse CPG-SM a été effectuée à l'aide d'un appareil Agilent 5977 (séries MSD). L'échantillon de l'huile essentielle de *Hyptis suaveolens* a été injecté dans un chromatographe équipé d'une colonne capillaire en silice HP-5 couplé à un spectromètre de masse (phénylméthylpolysiloxane à 5% ; 20 mx 0,18 mm ; épaisseur de film 0,18 µm) en interface avec un quadripôle et un détecteur de masse. La température source et quadripolaire sont respectivement 230°C et 150°C. La température de l'injecteur est de 250°C. Les conditions opératoires d'injection et de programmation de température sont identiques à celles de la chromatographie en phase gazeuse. La température de l'interface du spectromètre de masse est fixée à 280 ° C. Le débit du gaz vecteur (hélium) est de 0,9 ml / min. La tension d'ionisation est de 70 eV. La plage de balayage est de 33-400 amu et le taux de balayage, 1,56 scan / s.

Leurs indices de rétention relatifs (LRI) ont été calculés en référence à une série de n-alcanes.

L'identification des constituants a été basée sur la comparaison de leur LRI avec ceux d'échantillons authentiques ou avec les données publiées dans la littérature (Adams, **2007**) et en comparant leurs spectres de masse avec ceux obtenus avec des échantillons authentiques et / ou avec le NIST98 et le FFNSC 2.L. (bibliothèques de spectres).

Figure 38. Chromatographe en phase gazeuse

## VII.3. Résultats

La figure 39 représente le chromatogramme de l'huile essentielle de *H. suaveolens* qui a révélé 38 composés représentant 99,5% de la totalité des pics.

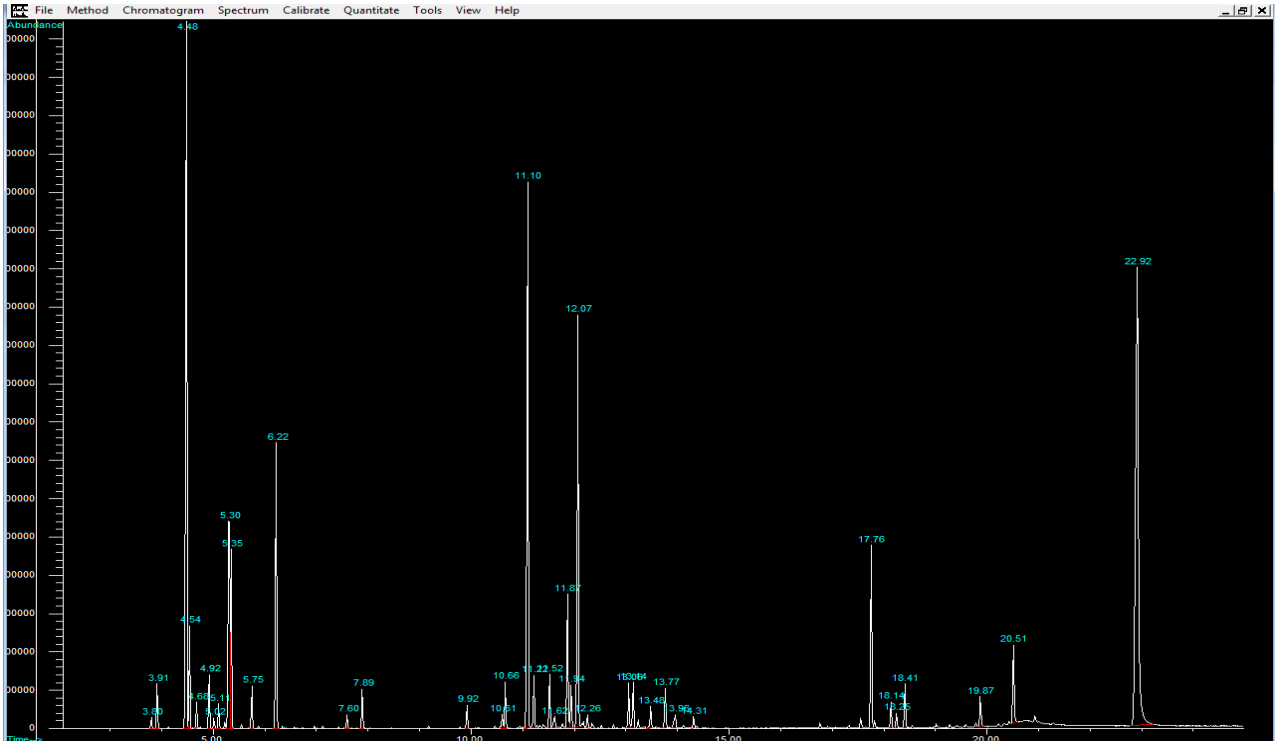


Figure 39. Chromatogramme (GC/MS) de l'huile essentielle de *Hyptis suaveolens*

Les composés de l'huile essentielle de *H. suaveolens* identifiés sont classés en fonction de leur temps de rétention et de leur famille ou classe (Tableau 28). L'huile essentielle de *Hyptis suaveolens* renferme des teneurs importantes de monoterpènes. Ces derniers sont essentiellement des hydrocarbonés dont le sabinène (25,5%), le terpinolène (6,8%), le limonène (5,1%), le β-Phellandrène (4,3%). Toutefois, l'huile essentielle de *Hyptis suaveolens* contient aussi une quantité importante de composés sesquiterpèniques dont majoritairement 15,3% de (E)-β-caryophyllène, 10,1% de bicyclogermacrène et 2,9% de D-germacrène, β-pinène (2,6%). Des monoterpènes oxygénés et des sesquiterpènes oxygénés ont été également identifiés. Il s'agit principalement de 1,8-Cinéole (3,8%), de Spathulenol (1%) et de τ-cadinol (1%). Les diterpènes rencontrés sont le palustrinol (0,8% -1,9%), le palustradiene (3,8%), l'abietadiène (1%) et l'abietatriène (0,7%). L'huile essentielle de *H. suaveolens* analysée contient un composé aromatique, le méthyl chavilcol (0,7%).

Tableau 28**.** Composition chimique de l'huile essentielle de feuilles d'*Hyptis suaveolens*

| Classe | Molécules | IR (HPS) | IR (R.P.Adams) | % |
|---|---|---|---|---|
| **Monoterpènes hydrocarbonés** | α-thujène | 929 | 930 | 0,2 |
| | α-pinène | 937 | 939 | 1,1 |
| | Sabinène | 977 | 975 | 25,5 |
| | β-pinène | 982 | 979 | 2,6 |
| | Myrcène | 991 | 990 | 0,6 |
| | α- phellandrène | 1008 | 1002 | 1,2 |
| | δ-3-carène | 1014 | 1011 | 0,2 |
| | α- terpinène | 1020 | 1017 | 0,5 |
| | p-cymène | 1027 | 1024 | 0,2 |
| | Limomène | 1032 | 1029 | 5,1 |
| | β-Phellandrène | 1032 | 1029 | 4,3 |
| | ɣ-Terpinène | 1062 | 1059 | 0,9 |
| | Terpinolène | 1092 | 1088 | 6,8 |
| **Monoterpènes oxygénés** | 1,8-Cinèole | 1037 | 1031 | 3,8 |
| | Terpinen-4-ol | 1182 | 1177 | 0,3 |
| **Diterpènes hydrocarbonés** | Palustradiene | 2035 | 2035 | 3,8 |
| | Abietatriène | 2076 | 2056 | 0,7 |
| | Abietadiène | 2105 | 2087 | 1,0 |
| **Diterpènes oxygénés** | Palustrinol (iso-1) | 2270 | | 0,8 |
| | Palustrinol (iso-2) | 2341 | | 1,9 |
| **Sesquiterpènes hydrocarbonés** | δ-elemène | 1343 | 1338 | 0,5 |
| | β-bourbonène | 1394 | 1388 | 0,3 |
| | β-elemène | 1398 | 1390 | 0,9 |
| | (E)-β-Caryophyllène | 1432 | 1417 | 15,3 |
| | Trans-α-bergamotène | 1441 | 1432 | 1,1 |
| | α-humelène | 1465 | 1454 | 1,0 |
| | Allo-aromadendrène | 1473 | 1460 | 0,2 |
| | D-germacrène | 1492 | 1485 | 2,9 |
| | β-selinène | 1498 | 1490 | 0,8 |
| | Bicyclogermacrène | 1508 | 1500 | 10,1 |
| | ɣ-cadinène | 1524 | 1513 | 0,3 |
| **Sesquiterpènes oxygénés** | Spathulenol | 1591 | 1578 | 1,0 |
| | Caryophyllène oxide | 1598 | 1583 | 1,0 |
| | 1-epi-cubenol | 1626 | 1628 | 0,5 |
| | τ-cadinol | 1651 | 1640 | 1,0 |
| | Neo-intermedeol | 1668 | 1660 | 0,3 |
| | (Z)-α-trans-bergamotol | 1697 | 1690 | 0,3 |
| **Phénylpropène** | Methyl chavicol | 1201 | 1195 | 0,7 |

## VII.4. Discussion

La composition de l'huile essentielle de *H. suaveolens* étudiée a montré 38 composés représentant un total de 99,5%. Il existe plusieurs chémotypes chez cette espèce végétale dont des chémotypes à sabinène (Noudogbessi et al., 2013), à β-caryophyllène (Chatri et al., 2014) et à 1,8-cinéole (Peerzada, 1997). Les résultats de nos analyses sont proches de ceux trouvés par Ngom et al. (2014) au Sénégal en ce qui concerne le taux de β-caryophyllène évalué à environ 15%. Par ailleurs l'huile essentielle caractérisée dans cette étude est plus riche en sabinène (25,5% contre 10,59%), légèrement moins fournie en terpinolène (6,8% contre 9,40%) et dépourvue de sclarène qui est le quatrième composé majoritaire de l'échantillon analysé par Ngom et al. (2014). Quant au composé bicyclogermacrène, troisième constituant majoritaire de l'huile essentielle étudiée, il est absent dans la composition chimique rapportée par Ngom et al. (2014). D'après les travaux de Guèye (2012) au Sénégal, l'huile essentielle de *H. suaveolens* a comme composé principal le Sabinène (11,65-27,9%), le caryophyllène (16,9-20,8%) et le 1,8-cinéole (19,8-1,1%). Dans cette même étude, l'huile essentielle de *Hyptis* dont les feuilles ont été récoltées à deux mois d'intervalle a montré des variations significatives dans la teneur en composés principaux. En se référant aux principaux constituants, la composition de l'huile essentielle de *H. suaveolens* étudiée se rapproche de celle du Burkina Faso (Djibo, 2000), du Bénin (Noudogbessi et al., 2013), de la Côte d'Ivoire (Tonzibo et al., 2009) et du Nigéria (Asekun et Ekundayo, 2000). Cependant, elles diffèrent par la proportion des composés majoritaires. L'huile essentielle étudiée au Nigéria (Eshilokun et al., 2005) a présenté quatre (04) composés majoritaires qui sont le sabinène (13,2 - 30%), l'α-pinène (1,8-13,6%), *p*-cymène (1,2%-11.7%) et le terpinen-4-ol (9,8 - 11,4%). Les trois derniers composés n'ont été détectés que sous formes de traces avec des proportions respectives de 1,1%, 0,2% et 0,3% dans l'huile essentielle étudiée. Le chémotype de la Tanzanie a présenté trois (03) composés majoritaires : β-caryophyllene (26%), β-elemène (10,4%) et trans-*α*-bergamotene (7,7%) (Malele et al., 2003).

Du point de vue chimique, l'huile essentielle du Sénégal ressemble davantage à celle caractérisée par Djibo (2000) au Burkina Faso à savoir le sabinène, le β-caryophyllène et le terpinolène à des teneurs respectifs de 36 – 38,9%, 8,5 – 16,9% et 4,3 – 7,3%. Selon des études effectuées en Guinée Bissau par Jaenson et al. (2006) les composés majoritaires sont : *β*-caryophyllene (42.4%), bergamotene (14.6%), terpinolene (8.1%). L'huile essentielle de *Hyptis suaveolens* étudiée au Bénin se singularise par une teneur élevée en 1,8-cinéole (11,5%) et une présence d'eucalyptol (14-24,6%) comme autres constituants majoritaires (Noudogbessi et al., 2013). Certains travaux réalisés antérieurement ont en revanche mis en évidence très peu de

composés majeurs en accord avec ceux obtenus dans cette étude (Azevedo et al., 2002 ; Grassi et al., 2005 ; Martins et al., 2006 ; Martins et al., 2007). Au Brésil, par exemple, Martin et al. (2007) ont identifié comme composés principaux le spathulenol (3,48-24,70%), le globulol (4.14-14.85%) et le dehydroabietol (2.23-16.80%) dans l'huile essentielle de *H. suaveolens*. Des facteurs génétiques et du milieu ont été rapportés comme étant à l'origine des variations de composition chimique des huiles essentielles des espèces végétales (Djibo, 2000).

### VII.5. Conclusion

Les principaux composés de l'huile essentielle de *Hyptis suaveolens*, obtenues par entrainement à la vapeur d'eau, ont été identifiés par CPG et CPG/SM. Plusieurs familles chimiques ont été identifiées. Le groupe des monoterpènes hydrocarbonés avec le sabinène constituent la fraction prédominante de l'huile essentielle de *H. suaveolens*.

Dans la perspectice de poursuivre et d'approfondir ce travail il serait intéressant (i) de tester les principaux composés purs et comparer leur pouvoir insecticide (ii) de mener des études toxicologiques et de rechercher des résidus après traitement pour bien cerner la qualité de la fibre traitée.

## DISCUSSION GENERALE

Les enjeux d'avenir de l'agriculture s'efforcent de répondre aux objectifs de production qualitative et quantitative, pour nourrir une population de plus en plus nombreuse, mais aussi se conformer aux exigences du développement durable. L'agriculture dite durable se propose de concilier les objectifs socio-économiques et environnementaux en adoptant de nouveaux systèmes de production. La protection des cultures contre les bio-agresseurs est une composante principale de la gestion des cultures et doit donc suivre cette évolution (IBIS, 2012). En effet, les dégâts occasionnés sur les cultures par divers bio-agresseurs (ravageurs, micro-organismes et virus, mauvaises herbes), contraignent l'agriculteur à recourir à des mesures de protection. Parmi celles-ci, la lutte chimique à l'aide de pesticides de synthèse a longtemps été (et reste souvent) considérée comme la solution la plus efficace et la plus facile à mettre en œuvre, dans des conditions économiques supportables, du moins par une agriculture de type productiviste (Deguine & Ferron, 2004). Cependant, l'importance des désordres écologiques observés au cours des dernières années suite à l'utilisation abusive des produits phytosanitaires organiques de synthèse met en évidence l'intérêt d'une réflexion sur des approches alternatives ou complémentaires pour un véritable développement durable de l'agriculture (Régnault-Roger et al., 2006).

La culture du cotonnier (*Gossypium hirsutum*) ne fait pas exception au constat phytosanitaire généralement établi - d'une part, certains de ses ravageurs 'traditionnels' sont devenus résistants aux insecticides et, d'autre part, d'autres insectes, jusqu'alors d'incidence mineure, ont acquis rapidement une importance économique notable (Deguine & Ferron, 2004). Le Sénégal, à l'instar de l'ensemble des pays de l'Afrique de l'Ouest connaît un parasitisme du cotonnier particulièrement important et diversifié. En l'absence de protection phytosanitaire, les pertes de production imputables aux arthropodes ravageurs varient entre 32 et 52% selon les années (PR-PICA, 2019b). Le ver de la capsule, *Helicoverpa armigera*, connu depuis longtemps sur cotonnier et présent dans la plupart des régions cotonnières du monde, représente le ravageur le plus important au Sénégal car cette espèce occasionne des dégâts considérables qui affectent directement la production du coton. C'est un ravageur très polyphage, susceptible de passer assez facilement d'une plante à une autre. Comprendre comment limiter de façon optimale l'impact de ce ravageur sur la production du cotonnier est essentiel à la survie de la filière au Sénégal. L'utilisation sans discernement des pesticides conventionnels de synthèse ayant eu un impact écologique et sanitaire néfaste (résistance des ravageurs, contamination de l'environnement et des écosystèmes, perte de la biodiversité…), fait que les molécules

naturelles issues du monde végétal sont de plus en plus considérées dans cette transition vers une agriculture durable (Régnault-Roger et al., 2006).

Le présent travail basé sur l'utilisation d'extraits de plantes locales, propose une approche alternative à l'usage des pesticides de synthèse qui permet d'une part, de maintenir le ravageur dominant *H. armigera* à des niveaux inférieurs à son seuil de nuisibilité et d'autre part, de limiter le recours aux insecticides chimiques de synthèse afin de préserver l'environnement. Les résultats obtenus ont permis de caractériser les pratiques paysannes en matière d'utilisation des plantes dans la protection du cotonnier contre ses ravageurs, d'évaluer l'efficacité des extraits aqueux et hydroéthanoliques des feuilles de *Azadirachta indica* (neem), *Hyptis suaveolens* et *Anacardium occidentale* vis-à-vis de *Helicoverpa armigera,* de déterminer l'impact de ces extraits sur une partie de la faune auxiliaire et d'identifier les molécules présentes dans l'huile essentielle de *Hyptis suaveolens.*

**Perception des producteurs de coton biologique sur l'utilisation des extraits de plantes dans la lutte contre les insectes ravageurs du cotonnier**

Les résultats de l'enquête ont montré que les producteurs sont conscients de la présence des insectes nuisibles et les considèrent comme un obstacle majeur à la production de coton dans la zone de par les importants dégâts occasionnés sur la plante. La majorité des paysans n'ont cependant pu identifier les ravageurs que de manière descriptive et dans des cas par un nom local, tandis quelques-uns les connaissent sous leur nom d'espèces telles que *Helicoverpa armigera, Anomis flava, Bemisia tabaci, Earias, Syllepte (Haritalodes) derogata, Dydercus*. Les chenilles carpophages en particulier *Helicoverpa armigera,* la chenille enrouleuse *Haritalodes derogata* et le coléoptère *Pachnoda* sont considérés comme les ravageurs les plus importants dans la région. Dans la partie du bassin cotonnier ayant fait l'objet de l'enquête, les paysans cultivent exclusivement du coton biologique. L'adoption des méthodes alternatives de traitement) dans cette zone, en l'occurrence les extraits botaniques, est motivée par les effets néfastes des pesticides sur la santé, le coût élevé des intrants chimiques et les recommandations de la société cotonnière. Ainsi la lutte contre les déprédateurs ne repose que sur des applications d'extraits de plantes. Les enquêtes ont révélé que les producteurs utilisent principalement le neem et *Piliostigma reticulatum.* La majorité (92%) de ces producteurs a remarqué une baisse importante des infestations de ravageurs après traitements avec ces extraits. La littérature consultée précise que le neem est non seulement efficace contre les insectes mais aussi tout à fait sûr pour les êtres humains et les autres animaux à sang chaud (Puri, 1995). *P. reticulatum* est une espèce rustique, à fort pouvoir de régénération. Il possède de nombreux usages

médicinaux qui expliquent sa grande exploitation par les populations rurales. Les feuilles de *P. reticulatum* contiennent des éléments minéraux qui améliorent la structure et la fertilité des sols dégradés (Diack *et al.,* 2000). Les perceptions paysannes de *P. reticulatum,* dans l'agriculture au niveau du plateau central du Burkina Faso révèlent que la croissance végétative des céréales associées à l'espèce est plus rapide et permet d'obtenir de bons rendements (Yelemou et al., 2007). C'est fort de ces attributs de *P. reticulatum* qu'il a été décidé de la tester dans la lutte contre les insectes. En plus des plantes locales, les paysans utilisent de la bouse d'animal (vache, cheval, mouton ou chèvre) pour fertiliser les sols. Ainsi, les producteurs ont constaté des effets insectifuges et insecticides ainsi qu'un bon développement végétatif des cotonniers après traitements avec les extraits de ces plantes. En outre, la majorité des producteurs a bénéficié d'une formation sur les techniques des préparations d'extraits de plante de la part de la SODEFITEX. De manière générale, les producteurs de coton ont une bonne perception de l'utilisation des extraits de plante et souhaiteraient que les techniques de fabrication soient modernisées.

**Evolution spatio-temporelle de *Helicoverpa armigera***

L'étude de la dynamique des populations larvaires nous a permis d'identifier les périodes d'infestation de *H. armigera.* Les résultats obtenus ont montré que *H. armigera* est présent au cours des campagnes 2015, 2016 et 2017. Par ailleurs, un premier pic de faible intensité et un second pic plus important situés entre le mois de septembre et le mois d'octobre correspondent aux périodes de fortes infestations. Nos résultats sont en concordance avec Badiane (2017) qui révèle sur la base de résultats antérieurs de plusieurs années d'observations du service Entomologie de l'ISRA que la période critique des infestations de *Helicoverpa armigera* se situe entre mi-septembre et mi-octobre. Katary et al. (2007) ont également remarqué sur 2 sites d'expérimentation au Bénin que les pics d'infestion larvaire de *H. armigera* en culture contonnière sont synchronisés et correspondent au mois d'octobre. Diop (2013) explique cette présence en partie par la bioécologie du ravageur, en l'occurrence sa capacité de reproduction élevée, sa préférence marquée pour le cotonnier par rapport aux autres cultures pluviales et sa polyphagie. La synchronisation entre les stades phénologiques du cotonnier et le ravageur *H. armigera* est aussi d'importance. Ces phénomènes peuvent être observés sur d'autres insectes dans d'autres systèmes de culture. Dushimirimana et al. (2016) ont montré que les principaux insectes ravageurs du caféier ne sont pas abondants au même moment et évoluent progressivement ou régressivement en fonction de l'état de maturité du café. Selon Dieng et al. (2019) les espèces de *Bactrocera dorsalis, Ceratitis capitata, Ceratitis cosyra* et *Zeugodacus*

*cucurbitae* enregistrées en Casamance ont atteint leur plus grande population pendant les stades de fructification et de maturation des mangues. D'autre part, il a été constaté que les niveaux d'infestation de *H. armigera* varient d'une année à l'autre et d'une zone à l'autre. Ceci est sans doute dépendant des conditions climatiques notamment la pluviométrie. En effet, il a été montré que la pluviométrie limite considérablement la pullulation des chenilles de *H. armigera* ainsi que de beaucoup d'autres insectes (Didi et al., 2018 ; PR-PICA, 2019c). Une meilleure connaissance du cycle évolutif de *H. armigera* permettrait de mieux orienter des méthodes de lutte comme le démarrage et la fréquence des traitements, particulièrement dans la perspective d'une mise en œuvre de lutte intégrée en culture cotonnière.

***Azadirachta indica* (neem), *Hyptis suaveolens* et *Anacardium occidentale* dans la gestion intégrée des ravageurs**

Dans cette étude, l'efficacité biologique des extraits aqueux et hydroéthanoliques de feuilles de *Azadirachta indica, Hyptis suaveolens* et *Anacardium occidentale* a été évaluée au laboratoire et au champ sur *Helicoverpa armigera*. Nos résultats concordent avec ceux obtenus par de nombreux auteurs qui ont montré les effets insecticides et répulsifs de ces plantes au Sénégal (Guèye et al., 2009) et dans plusieurs pays comme le Bénin (Azonkpin et al., 2018), le Togo (Mondedji et al., 2014), la Côte d'Ivoire (Gnago et al., 2010), le Burkina Faso (Ba et al., 2008) et le Congo.

Appelé 'pharmacie du village', l'arbre « miracle » par les praticiens de la médecine traditionnelle indienne ou l'arbre « divin » par certains auteurs (PURI, 1999), le neem est utilisé depuis des millénaires en médecine traditionnelle. Les premiers textes médicaux en sanskrit (langue indo-européenne parlée dans le sous-continent indien) font référence aux effets bénéfiques de ses fruits, de ses graines, de son huile, de ses feuilles, de sa racine ou de son écorce. Ce sont les propriétés insecticides des extraits de neem qui ont été les plus étudiées (PURI, 1999). Ces propriétés sont mentionnées dans les récits médicaux il y a de cela plusieurs années. L'azadirachtine et d'autres substances extraites des feuilles et des graines exercent une action anti-nutritionnelle et perturbent la croissance et la reproduction des insectes (Ciesla, 1993). Au regard des résultats obtenus sur cette étude, il apparait que les extraits aqueux et hydroéthanoliques de neem sont très actifs sur les larves de *H. armigera* ce qui est en phase avec plusieurs travaux précédents. Au moins douze modes d'action ont été répertoriés et ses extraits peuvent agir comme répulsif, anti-appétant ou phagodissuasif ou encore comme régulateur de croissance pouvant affecter la ponte chez les femelles ainsi que la mue et la croissance des larves chez certains arthropodes, ovicide, larvicide et affaiblit les insectes (Koul

et al., 1990 ; Bélanger et Musabyimana, 2005). Selon Benelli et al. (2016) l'huile et le tourteau de neem agissent comme des ovicides, des larvicides, des pupicides et des dissuasifs de ponte prometteurs contre d'importants arbovirus et moustiques vecteurs du paludisme. Le neem doit son activité insecticide essentiellement à des composés limonoïdes, principalement l'azadirachtine, la salanine et la nimbine et leurs analogues. Les salanines et les nimbines sont des antiappétents, tandis que les azadirachtines sont des inhibiteurs de croissance (Régnault-Roger et al., 2008). Ceci peut expliquer les résultats obtenus sur *H. armigera* dans cette étude. Selon Gupta et al. (2017), plus de 1000 articles de recherche publiés sur le neem ont découvert plus de 300 constituants structurellement divers, dont un tiers sont des limonoïdes dont le nimbolide, l'azadarachtine et la gedunine. Ces agents manifestent leurs effets en modulant plusieurs voies de signalisation cellulaire. Les produits à base de neem ont une faible toxicité pour l'homme, une toxicité environnementale acceptable et leur utilisation peut donc être considérée comme relativement sûre (Dougoud et al., 2019).

Plusieurs propriétés pharmacologiques de *H. suaveolens* ont été mises en évidence parmi lesquelles les activités tumorigène, infertile, mycotoxique et phototoxique et récemment insecticide. *Hyptis suaveolens* est une plante aromatique largement répandue au Sénégal, poussant spontanément dans différents biotopes. Comme beaucoup de Lamiaceae, elle fait partie de la pharmacopée traditionnelle (Kerharo et Adam, 1974). *Hyptis suaveolens* est une plante sudorifique, fébrifuge, antispasmodique, galactogène, insectifuge voire insecticide. Certaines des vertus thérapeutiques de ces plantes ont été démontrées scientifiquement au laboratoire par beaucoup d'auteurs (Shaikat et al., 2012 ; Barbosa et al., 2013). Cependant, au Sénégal comme dans tous les autres pays de l'Afrique de l'Ouest, l'emploi des plantes aromatiques s'appuie rarement sur des bases scientifiques. Du fait de la méconnaissance de leurs valeurs ajoutées éventuelles, les plantes aromatiques sont sous-estimées par les populations qui, pourtant, n'ignorent pas leurs propriétés naturelles intrinsèques (Ngom et al., 2014). Les substances phytochimiques de *H. suaveolens* peuvent agir comme larvicides, régulatrices de la croissance des insectes, répulsives et attractives pour la ponte. *H. suaveolens* produit une très forte odeur de menthe aromatique lorsque les feuilles sont écrasées, ce qui conduit à utiliser la plante comme un puissant insectifuge (Oparaeke et al., 2002). Les fumées des feuilles séchées sont utilisées pour repousser les moustiques et contrôler les insectes nuisibles aux grains (Okigbo et al., 2010). Elle est active contre le charançon du niébé *Callosobruchus maculates* et la pyrale du niébé *Maruca testulalis* (Deepthi et al., 2017). Dans le cas de *Hyptis spicigera*, Noudjou et al. (2007) attribuent son efficciacité à la fraction α-pinène

de l'huile essentielle. Toutefois Guèye et al. (2016) ont démontré de fortes variations de certains composés majeurs de *H. spicigera* et *H. suaveolens* au bout d'un mois seulement. Avec *H. suaveolens*, le taux de 1,8-cinéole a chuté de 20% à 1%. Les composés majeurs identifiés, sans doute responsables de l'activité observée, ont été sabinène et β-caryophyllène. Ceci montre l'importance pour une même localité, de la période de récolte, compte non tenu d'autres facteurs tels que la température. A l'image de notre étude, les travaux de Deepthi et al. (2017) ont montré que la pulvérisation des extraits aqueux de *H. suaveolens* sur les plants de maïs à intervalles hebdomadaires, a pu agir comme inhibiteur qui a stoppé le développement des différents stades de *Sesamia calamistis.*

Quant à la plante *Anacardium occidentale*, les recherches antérieures ont été davantage orientées vers la caractérisation de ses propriétés médicinales. En effet, ses différentes parties sont largement utilisées dans la médecine traditionnelle pour traiter les plaies, les morsures de serpent et les éruptions cutanées. Les feuilles de *A. occidentale* possèdent également des activités antifongiques, antidiarrhéiques et antipyrétiques (Dahake et al., 2009). Par ailleurs, les travaux de Chabi *et al.* (2014) ont montré que les feuilles et l'écorce de l'anacardier ont des propriétés fongicides et bactéricides. D'autres auteurs (Kpoviessi et al. 2017 ; Azonkpin et al. 2018) ont montré que le baume (produit issu de la coque) est efficace contre les chenilles carpophages du cotonnier ainsi que le puceron, les thrips et la chenille du niébé. Compte tenu de la composition chimique des plantes, de nombreux travaux ont mis en évidence les effets insecticides ou répulsifs des extraits de plantes sur beaucoup de déprédateurs. Les feuilles, les fleurs et les fruits de *Anacardium occidentale* donnent par hydrodistillation de l'huile essentielle (Maia et al., 2000). D'après les travaux de Dzamic et al. (2009), les résultats de l'analyse chimique de l'huile essentielle des feuilles de *A. occidentale* révèle soixante-cinq composés. L'huile est composée principalement de monoterpènes (62,6%) et de sesquiterpènes (31,1%). Les composés non-terpénoïdes représentent 5,2%. Malgré ces propriétés connues des organes de la plante, aucune étude n'a encore exploré les effets de l'utilisation des extraits aqueux ou hydroéthanoliques des feuilles dans la réduction des populations de chenilles de la noctuelle *H. armigera*, ravageur important du cotonnier au champ ainsi que beaucoup d'autre cultures comme les graminées (maïs, sorgho, mil), les légumineuses (haricot, niébé) et les solanacées (tomate, pomme de terre, aubergine, poivron). Or, cette exploration pourrait se révéler intéressante car les deux plantes sont exploitées dans les mêmes régions. En plus d'être une filière très porteuse au Sénégal, *Anacardium occidentale* a offert des résultats très intéressants dans la lutte contre le ravageur *H. armigera*.

**Impact des extraits de plantes sur la faune auxiliaire**

L'observation hebdomadaire des populations de la faune auxiliaire par la méthode de la diagonale sur 30 plants par parcelle élémentaire reste un moyen efficace qui permet en plus de l'inventaire, d'étudier, d'une part, certains paramètres bioécologiques et d'apprécier, d'autre part, le rôle des extraits de plantes dans le contrôle biologique des chenilles de *H. armigera*. Ainsi, les résultats de cette étude ont montré que les extraits aqueux et hydroéthanoliques de neem, *H. suaveolens* et *A. occidentale* sont moins toxiques que les insectcides chimiques de synthèse sur les coccinelles, les araignées et les fourmis. Nonobstant le faible nombre d'études qui leur a été consacré en Afrique de l'Ouest, les extraits de plantes auraient peu d'impacts négatifs sur la faune utile en comparaison de ceux occasionnés par les insecticides de synthèse (Yarou et al., 2017). Selon Mochiah et al. (2011), qui a étudié l'efficacité de différentes plantes dans la lutte contre les insectes nuisibles pour une agriculture biologique, l'application des extraits de plantes permet de maintenir un équilibre écologique entre ravageurs et auxiliaires. Les travaux de Sanon et al., (2005) au Burkina Faso pour le contrôle des bruchidae du niébé en stock ont montré que l'utilisation de *Boscia senegalensis* influencent les relations interspécifiques entre les espèces parasitoïdes et pourrait améliorer la lutte biologique grâce à l'augmentation du nombre d'adultes de *Dinarmus basalis.* Des études similaires ont montré que la combinaison de certaines variétés de haricots enrichis en arceline avec le parasitoïde *D. basalis* est favorable à l'élimination des dégâts causés par *Acanthoscelides obtectus* (Schmale et al., 2002). Dupin (2017) rapporte que l'utilisation de produits phytosanitaires moins polluants et de pratiques agroécologiques respectueuses de l'environnement favorisent l'action des prédateurs comme les coccinelles, les chrysopes, les punaise pédatrices, les araignées ainsi que les parasitoïdes sur les ravageurs de cultures. La plupart des ravageurs des cultures possèdent un cortège d'ennemis naturels qui contribuent à limiter leur pullulation. Mieux connaitre la diversité biologique pour mieux préserver et valoriser son potentiel, connaitre et évaluer le rôle de la biodiversité dans le fonctionnement et l'évolution des écosystèmes permet de développer des pratiques agricoles durables. La faune auxiliaire constitue un maillon important pour le contrôle biologique des populations de ravageurs sous le seuil de nuisibilité. La lutte biologique classique (lachers d'auxiliaires zoophages) permet de limiter les dégâts dus aux ravageurs. Mais cette technique peut se révéler assez coûteuse et elle s'applique difficilement dans les milieux ouverts comme les grandes cultures, l'arboriculture ou le maraîchage en plein champ. Dans un contexte où les moyens chimiques de contrôle des ravageurs seront de plus en plus limités, l'agriculture biologique comme l'agriculture conventionnelle se doivent de prendre en compte le potentiel des régulations biologiques naturelles (DéVAB, 2009). Beaucoup d'études

n'indiquent pas clairement l'effet des extraits de plantes ou des biopesticides sur les ennemis naturels des insectes nuisibles. Dans ce contexte, la présente étude est pionnière en la matière sur les impacts des extraits de plantes en particulier les extraits de *H. suaveolens* et *A. occidentale* sur les ennemis naturels des principaux ravageurs du cotonnier.

**L'huile essentielle de *Hyptis suaveolens* dans la lutte contre *Helicoverpa armigera***

L'huile essentielle de *H. suaveolens* a révélé cinq (05) composés majoritaires : sabinène (25,5%), (E)-β-caryophyllène (15,3%), bicyclogermacrène (10,1%), terpinolène (6,8%), limonène (5,1%). Ce résultat est en accord avec Benelli et al. (2012) en Italie, qui indiquent que l'huile essentielle de *H. suaveolens* obtenue à partir des feuilles contient des pourcentages remarquables de sabinène (34%), de β-caryophyllène (11,2%), de terpinolène (10,7%), de β-pinène (8,2%), et de limonène (5,8%). De même, l'analyse d'huiles essentielles de *H. suaveolens* au Burkina Faso et au Bénin ont révélé le sabinène comme composé principal avec des pourcentages respectifs de 36-38,9 % et 7,3-31,3% (Djibo, 2000 ; Noudogbessi et al. 2013). Les résultats de cette étude sont également proches de ceux de Ngom et al. (2014) qui a trouvé que l'huile essentielle de *H. suaveolens* présente au Sénégal est principalement constituée de β-caryophyllène (16,63 %), sabinène (11,30 %), terpinolène (8,58%) et limonène (8,45 %). Cependant, l'étude de Peerzada (1997) sur l'huile essentielle des feuilles de *H. suaveolens* en Australie a montré le 1,8-cinéole (32%) et le β-caryophyllène (29%) comme composé majoritaire. Dans le même ordre d'idée Chatri et al. (2014) montrent que les constituants les plus abondantes obtenus à partir de l'huile essentielle de *H. suaveolens* en Indonésie sont le β-caryophyllène (34,65%), le germacrène-D (10,32%), l'α-bergamotène (6,56%), le rimuène (6,46%) et l'α-copène (5,94%). Les activités biologiques du β-caryophyllène et celles du sabinène, du limonène, du terpinolène et 1,8-cinéole ont été rapporté, notamment leur participation dans le système de défenses des plantes (Djibo, 2000 ; Benelli et al., 2012). La présence, comme constituants principaux dans l'huile essentielle de *Hyptis suaveolens* du Sénégal, de ces composés pourrait expliquer les propriétés insecticides de ses extraits de feuilles mises en évidence dans nos travaux et l'emploi de la plante dans les systèmes traditionnels de protection des récoltes. En effet, beaucoup de travaux existent sur l'utilisation des Lamiacées comme plantes insecticides et qui agissent avec un effet « *knock down* ». Les travaux de Guèye (2012) ont insisté sur la maturité des plantes qui doivent être bien odorantes pour une charge maximale en huiles essentielles. Toutefois, un séchage poussé pourrait laisser échapper toute l'huile, en quelques jours, du fait de sa forte volatilité.

## CONCLUSION GENERALE

Le présent travail est une contribution complémentaire aux diverses études effectuées depuis plusieurs années sur les ravageurs du cotonnier. En effet, la filière cotonnière fait face à une attaque d'un nombre très important et diversifié de bio-agresseurs, les insectes en général et la noctuelle *H. armigera* en particulier contribuent d'une façon non négligeable aux dégâts des capsules et la baisse du rendement. L'étude nous a permis d'analyser les perceptions des producteurs de coton bio dans la région de Kaffrine sur les méthodes alternatives de protection phytosanitaire, de suivre l'évolution du ravageur sur les trois (03) zones agroécologiques du bassin cotonnier, d'entreprendre une nouvelle approche relative à l'effet des extraits de plantes aqueux et hydroéthanoliques sur les populations de chenilles de *H. armigera* ainsi que sur la faune auxiliaire et de d'apprécier les possibilités d'utilisation de l'huile essentielle de *H. suaveolens*.

Cette étude a permis en outre, de connaître les types de plantes que les producteurs font usage pour lutter contre les insectes nuisibles du cotonnier dans les champs. Traditionnellement, les plantes sont utilisées dans la lutte contre les déprédateurs, la conservation des céréales et des légumineuses, la lutte contre les insectes nuisibles à la santé humaine et la lutte contre les parasites de certains animaux. Cinq espèces au total ont été recensées : *Azadirachta indica*, *Boscia senegalensis, Guiera senegalensis Khaya senegalensis* et *Piliostigma reticulatum.*

Au cours des expérimentations menées sur le terrain, le ravageur *Helicoverpa armigera* a été identifié et dénombré à chaque stade phénologique du cotonnier durant trois (03) campagnes. Selon les résultats obtenus, les populations de chenilles du ravageur suivent une dynamique et deviennent plus importante au stade floraison-capsulaison des cotonniers. La pluviométrie semble avoir un impact important sur les populations de larves de la noctuelle, et jouerait un rôle déterminant dans l'abondance de celles-ci. En effet, les fortes baisses de pullulations sont enregistrées durant les périodes de fortes précipitations.

*Helicoverpa armigera* est à l'origine d'importants dégâts entraînant des pertes considérables sur les champs de cotonnier. L'importance des traitements phytosanitaires visant à minimiser la perte économique occasionnée par le ver de la capsule a été bien établie par cette étude. Les différents extraits de plantes appliqués dans les parcelles d'essais de cotonnier ont permis une réduction considérable de la population larvaire de *H. armigera* comparativement aux témoins. Les parcelles témoins (non traité) ont hébergé plus de larves que les autres parcelles traitées avec les extraits aqueux et hydroéthanoliques de feuilles de *A. indica, H. suaveolens* et *A. occidentale*, avec subséquemment des taux d'infestation plus élevés. Le niveau de contrôle des

dégâts se traduit par une diminution significative et une limitation des dégâts sur les capsules vertes et mûres du cotonnier.

Les extraits des plantes expérimentés manifestent une activité biologique sur les larves de *H. armigera.* Concernant les extraits aqueux, la concentration 29% s'avère plus efficace pour contrôler les infestations de *H. armigera*. Les niveaux d'infestation de *H. armigera* sont moins élevés avec les extraits hydroéthanoliques de neem et de *H. suaveolens* comparé à ceux de *A. occidentale* et les extraits aqueux. Les extraits ont été préparés par des moyens mécaniques simples. Ainsi, les types d'extraits de plantes qui se sont révélés prometteurs dans la présente étude pourraient être facilement préparés par des agriculteurs aux ressources limitées ou des entreprises artisanales dans les villages ruraux. En plus, les plantes sont eux-mêmes facilement accessibles aux agriculteurs. *A. indica*, une plante pérenne est largement répandue sur le bassin cotonnier du Sénégal ainsi que *H. suaveolens* qui est une herbe envahissante. Ils sont donc immédiatement disponibles sans frais, tandis que *A. occidentale* est souvent cultivé.

Quant à la faune auxiliaire, les observations ont permis de noter l'existence d'un nombre d'espèces d'ennemis naturels mais qui demeure assez faible par rapport aux fluctuations des chenilles. Les extraits de plantes utilisés n'exercent pas ou peu d'effet sur la faune auxiliaire. D'où l'intérêt de positionner l'application des extraits de plantes à un moment approprié au sein d'un programme de lutte intégrée pour éviter de nuire à cette faune utile.

La caractérisation de l'huile essentielle de *H. suaveolens* étudiée par une analyse qualitative et quantitative a permis d'identifier 38 composés dont sabinène (25,5%), (E)-β-caryophyllène (15,3%), bicyclogermacrène (10,1%), terpinolène (6,8%) et limonène (5,1%) comme composés majoritaire. Les résultats obtenus encouragent l'utilisation de cette plante. Toutefois, des investigations complémentaires sont nécessaires afin de mieux apprécier les modalités d'application pour une meilleure efficacité.

L'ensemble des résultats obtenus lors de ce travail pourrait constituer des solutions alternatives ou complémentaires à associer dans le cadre d'une gestion intégrée avec l'utilisation des pesticides organiques de synthèse pour la protection de la culture cotonnière. Il est nécessaire pour une agriculture et un développement durable de développer des bioinsesticides extraits de plantes pour à la fois valoriser au mieux la biodiversité mais aussi s'inscrire dans un contexte de développement en harmonie avec l'environnement et les préoccupations sanitaires de la population.

## RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES

Cette étude, une des premières dans le bassin de production cotonnière du Sénégal, mérite d'être élargie et renforcée. Un travail de recherche sur l'effet de diverses plantes locales potentiellement insecticides sur les principaux ravageurs du cotonnier doit être entamé. Les molécules actives seront recherchées, de même que leur effet sur les ennemis naturels.

Les résultats acquis montrent l'existence d'une filière déjà partiellement organisée qui permet de faire l'économie des insecticides chimiques de synthèse. Une étude économique affinée devrait pouvoir identifier les modalités d'amélioration de cette filière qui avait déjà été décrite et étudiée, historiquement (Romain et Thiam, 1993). La promotion par la cellule recherche / développement de la société cotonnière pourrait ainsi bénéficier d'éléments tangibles pour valoriser les savoirs et les méthodes traditionnels.

Dans un contexte de préservation de la biodiversité végétale, il apparait important de prendre des mesures qui permettront d'assurer la pérennité de *Azadirachta indica, Hyptis suaveolens* et *Anacardium occidentale,* notamment la création de pépinières et de bosquets communautaires afin de disposer de réservoirs de plantes biopesticides proches des villages.

L'étude de l'évolution des infestations larvaires de *H. armigera* prend toute son importance à l'heure où les études sur les seuils d'intervention et la lutte intégrée se multiplient. L'adoption de traitements insecticides sur les ravageurs économiquement nuisibles avec des doses de matières actives adaptées aux niveaux d'infestation réels nécessitent une bonne connaissance du cycle annuel et la définition préalable des niveaux d'infestation. Afin d'essayer d'expliquer la variabilité des infestations observées, et si possible, de pouvoir établir des modèles prédictifs pour l'infestation des ravageurs du cotonnier, il importe d'accorder davantage d'attention à la prise en compte des paramètres climatiques.

Dans les stratégies d'élaboration de méthodes de lutte intégrée contre *Helicoverpa armigera* et les insectes ravageurs du cotonnier en général, on peut envisager l'association de diverses possibilités de lutte biologique notamment l'utilisation des ennemis naturels et les produits à base de plantes à propriétés insecticides tels que le neem, *Hyptis* et *Anacardium*. Pour cela, il est important de faire un inventaire approfondi des différentes espèces d'ennemis naturels des insectes nuisibles du cotonnier. De plus, l'utilisation des extraits dans une partie des programmes de protection dits conventionnels pourrait être une autre voie à explorer par la recherche nationale, de manière participative avec les producteurs, leurs associations et les autres acteurs de la filière au Sénégal. L'étude de Adda et al. (2011) a montré que l'extrait

aqueux de *H. suaveolens* associé à une dose faible d'insecticide chimique peut contrôler la tordeuse de la capsule du coton et le foreur de tige *Sesamia calamistis*. Par ailleurs, des essais en milieu paysan sont nécessaires pour renforcer les recommandations à faire et réduire la densité des populations larvaires de *H. armigera* par l'utilisation des extraits de plantes.

Notre étude sur la caractérisation de l'huile essentielle de *H. suaveolens* a mis en évidence des composés connus à travers la littérature pour leurs activités insecticides. Il convient maintenant d'affiner les criblages et d'évaluer l'activité insecticide des composés majeurs de l'huile essentielle grâce à des tests bioguidés. Pour les extraits aqueux et hydroéthanoliques, il faudra procéder à l'isolation et l'identification des molécules actives grâce à l'utilisation de la chromatographie en phase liquide à haute performance (HPLC) couplé au spectre de masse (MS) à haute résolution.

Enfin, il serait important de valoriser les résultats de recherches par un transfert aux producteurs.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

**Adams R.P. 2007.** Identification of essential oils by Gas Chromatography Quadrupole Mass Spectroscopy. 4th Ed. *Allured Publishing Corporation*, Carol Stream, USA.

**Adda C., Atachi P., Hell K., Tamò M. 2011.** Potential use of the bushmint, *Hyptis suaveolens*, for the control of infestation by the pink stalk borer, *Sesamia calamistis* on maize in southern Benin, West Africa. *Journal of Insect Science*, 11 (33): 1-13.

**Adje K., Djidji A.H., Fondio L., N'zi J.C., Kouame C. 2009**. Efficacité des traitements phytosanitaires contre les ravageurs et maladies de quatre variétés de tomate au centre de la côte d'ivoire. *Agronomie Africaine*, 21 (2) : 165–172.

**Agboka K., Agbodzavu K.M., Tomò M., Vidal, S. 2009**. Effects of plant extracts and oil emulsions on the maize cob borer *Mussidia nigrivenella* (*Lepidoptera: Pyralidae*) in laboratory and field experiments. *International Journal of Tropical Insect Science*, 29 (4): 185-194.

**Aggarwal N., Brar D.S. 2006**. Effects of different neem preparations in comparison to synthetic insecticides on the whitefly parasitoid *Encarsia sophia* (*Hymenoptera: Aphelinidae*) and the predator *Chrysoperla carnea* (*Neuroptera: Chrysopidae*) on cotton under laboratory conditions. *Journal of Pest Science*, 79 : 201-207.

**Aman kadio G., Ipou ipou J., Toure Y. 2004.** la flore des adventices des cultures cotonnières de la région du Worodougou, au nord-ouest de la Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine*, 16 (1): 1-14.

**Amoabeng B.W., Gurr G.M., Gitau C.W., Nicol H.I., Munyakazi L., Stevenson P.C. 2013**. Tri-Trophic Insecticidal Effects of African Plants against Cabbage Pests. *PLoS ONE*, 8 (10), e78651.

**Amoatey C.A., Acquah E., 2010**. Basil (*Ocimum basilicum*) intercrop as a pest mangement tool in okra cutivation in the Accra plains. *Ghana Journal of Horticulture*, **8 :** 65-70.

**Amoukou I.A., Boureima S., Yayé D.A., Abdoulkadri B.C. 2013.** Inventaire et dynamique des insectes ravageurs des cultures du sésame (Sesamum indicum L.) au Niger. Bulletin de la Recherche Agricole du Bénin (BRAB), Numéro spécial productions Animales & végétales et Economie & Sociologie Rurales, 5 p.

**Amtul J.S. 2014**. *Azadirachta indica* derived compounds as inhibitors of digestive alpha-amylase in insect pests: Potential bio-pesticides in insect pest management. *European Journal of Experimental Biol*ogy, **4** (1): 259-264.

**Anonyme[1]. 2008a.** The biology of *Gossypium hirsutum* L. and *Gossypium barbadense* L. (cotton). Office of the Gene Technology Regulator, Australia, version 2, 87 p.

**Anonyme[2]. 2016**. les avis des producteurs de coton sur les réformes des filières cotonnières africaines. APROCA, COMIC RELIEF, Enda diapol, Oxfam 10 p.

**Anonyme[3]. 2002**. Le coton au Bénin : rapport de consultation sur le coton conventionnel et le coton biologique au Bénin. Pesticides Poverty and Livelihoods project. Pesticide Action Network United Kingdom PAN *Uk* and Organisation Béninoise pour la Promotion de l'Agriculture Biologique OBEPAB, London, United Kingdom, 36 p.

**Anonyme[4]. 2008b**. Développement du coton équitable et bio-équitable en Afrique de l'Ouest et du Centre. Document de projet, AFD, APROCA, DAGRIS, HELVETAS, MHF, FLO, 56 p.

**Anonyme, 2015.** Protocoles des essais entomologiques du cotonnier. Institut sénégalais de recherches agricoles. Centre de Recherches zootechniques de Kolda. Campagne 2015/2016. 58 p.

**Araujo E.R.D., Langassner S.M.Z., Cavalcanti G.B.J., Kramer D.G. 2016**. Antimicrobial potential evaluation of hydroethanolic extracts of the species *Anacardium occidentale Linn*. *African Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 10 (28): 579-583.

**Ascher K.R.S. 1993.** Nonconventional insecticidal effects of pesticides available from the Neem tree, *Azadirachta indica*. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*, 22: 433-449.

**Asekun O.T., Ekundayo O. 2000**. Essential Oil Constituents of *Hyptis suaveolens* (L.) Poit. (Bush Tea) Leaves from Nigeria. *The Journal of Essential Oil Research*, 12 (2) : 227-230.

**Attims Y. 1969**. Etude de la morphogenèse dans le genre *Gossypium* L. (Malvacées). Cah. ORSTOM, sér, Biol, n° 10: 96-116.

**Ayepola O.O., Ishola R.O. 2009**. Evaluation of Antimicrobial Activity of *Anacardium occidentale* (Linn.). *Advances in Medical and Dental Sciences*, 3(1): 1-3.

**Azeez O.M., Pitan O.O.R. 2018**. Sole and combined effect of three botanicals against cowpea seed bruchid, *Callosobruchus maculatus* Fabricius. *African journal of agricultural research* , 13 (7) : 321-328.

**Azevedo N.R., Campos I.F.P., Ferreira H.D., Portes T.A., Seraphin J.C., Paula J.R., Santos S.C., Ferri P.H. 2002.** Essential oil chemotypes in *Hyptis suaveolens* from Brazilian Cerrado. *Biochemical Systematics and Ecology*, 30: 205-216

**Azonkpin S., Chougourou D.C., Bokonon-Ganta A.H., Dossou J., Ahoton L.E., Soumanou M.M., Vodouhe S.D. 2018.** Efficacite du baume de cajou contre les chenilles carpophages du cotonnier au nord du Benin. *European Scientific Journal*, 14 (24) : 464-489.

**Ba N.M., Dabire C.B., Drabo I., Sanon A., Tamoÿ M. 2008**. Combinaison de la résistance variétale et d'insecticides à base de neem pour contrôler les principaux insectes ravageurs du niébé dans la région centrale du Burkina Faso. *Science et technique, Sciences naturelles et agronomie* 30 (1) : 113-121.

**Badiane D, Guèye M.T., Coly E.V., Faye O. 2015**. Gestion intégrée des principaux ravageurs du cotonnier au Sénégal et en Afrique occidentale. *International Journal of Biological and Chemical Sci*ences, 9 (5) : 2654-2667.

**Badiane D. 1995**. Situation parasitaire du cotonnier au Sénégal et méthodes de contrôle. Mémoire de titularisation, 85 p.

**Badiane D. 2000**. Rapport annuel d'activités 1996-2000 : entomologie, coton.

**Badiane D. 2013**. Rapport d'activité annuel sur les stratégies de gestion intégrée des ravageurs du cotonnier au Sénégal lors de la campagne 2012-2013. Tambacounda, 80p.

**Badiane D. 2017.** Gestion intégrée des principaux ravageurs du cotonnier (*Gossypium hirsutum* L.) au Sénégal**.** Thèse Unique de Doctorat, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal, 99p.

**Badiane D. Sané B., 2018**. Rapport d'activité annuel sur les stratégies de gestion intégrée des ravageurs du cotonnier au Sénégal lors de la campagne 2017-2018, ISRA/CRA Tambacounda.

**Badiane D., Sané B. 2019.** Rapport d'activité annuel sur les stratégies de gestion intégrée des ravageurs du cotonnier au Sénégal lors de la campagne 2018-2019.

**Barbosa L.C.A.., Martins F.T., Teixeira R.R., Polo M., Montanari R.M. 2013**. Chemical Variability and Biological Activities of Volatile Oils from *Hyptis suaveolens* (L.) Poit. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 78 (1): 1-10.

**Barzman M., Bàrberi P., Birch A.N.E., Boonekamp P., Dachbrodt- Saaydeh S., Graf B., et al. 2015**. Eight principles of integrated pest management. Agronomy for Sustainable Development 35: 1199–1215.

**Belanger A., Musabyimana T. 2008**. Le neem contre les insectes et les maladies. Agriculture et Agroalimentaire Canada, Centre de recherche et développement en horticulture, 430 Boul. Gouin, Saint-Jean-sur-Richelieu, Québec, 13 pp.

**Belder Den E., Elderson J., Agca I. 1998**. Host finding of thrips tabaci disrupted by volatiles. *Department of Crop Production Ecology*, Wageningen University, 19p.

**Belonwu D.C., Ibegbulem C.O., Chikezie P.C. 2014**. Systemic evaluation of antibacterial activity of *Anacardium occidentale*. *The Journal of Phytopharmacology*, 3 (3): 193-199.

**Benelli G., Canale A., Toniolo C., Higuchi A., Murugan K., Pavela R., Nicoletti M. 2016**. Neem (*Azadirachta indica*): towards the ideal insecticide? *Natural Product Research*, 18 p.

**Benelli G., Flamini G., Canale A., Molfetta I., Cioni P. L., Conti B., 2012**. Repellence of *Hyptis suaveolens* whole essential oil and major constituents against adults of the granary weevil Sitophilus granaries. *Bulletin of Insectology*, 65 (2) : 177-183.

**Bèye A. M. 1985**. Amélioration du cotonnier au Sénégal problèmes pratiques de la diffusion de la nouvelle variété IRMA 96 + 97. Rapport de stage titularisation, Recherche sur les productions végétales. Tambacounda : Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA.), 71 p.

**Biao F., Afouda L. Koné D. 2018**. Effet des extraits aqueux à base d'ail (*Allium sativum*), de neem (*Azadirachta indica*), d'Hyptis (*Hyptis* spp.) et d'huile d'arachide sur les pucerons, vecteurs du virus de la panachure du piment vert (*Capsicum chinense*) au Nord-Bénin. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 38 (3) : 6336-6348.

**Blanguernon F. 1978**. La culture cotonnière au Sénégal. Synthèse de 10 années de recherches *Coton et Fibres Tropical*es, XXXIII (3) : 353-361.

**Boeke S. J., Baumgart I. R., Van Huis A., Van Loon J. J. A., Dicke M., Kossou D. K. 2004**. Toxicity and repellence of african plants traditionally used for the protection of stored cowpea against *Callosobruchus maculatus*. *Journal of Stored Products Research*, 40: 423 - 438.

**Brévault T, Badiane D, Goebel R, Renou A, Téréta I, Clouvel P. 2019**. Repenser la gestion des ravageurs du cotonnier en Afrique de l'Ouest. *Cahiers Agricultures*, 28 (25) : 8p.

**Brévault T., Achaleke J., Sougnabe S.P., Vaissayre M. 2008**. Tracking pyrethroid resistance in the polyphagous bollworm, *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae), in the shifting landscape of a cotton-growing area. *Bulletin of Entomological Research*, 98 : 565-573.

**Cadou, J., 1976**. Problèmes phytosanitaires du cotonnier. N° 7631106002017501. Paris : IRTC, 48 p.

**Campos E.V.R., de Oliveira J.L., Pascoli M., de Lima R., Fraceto L. F. 2016.** Neem Oil and Crop Protection: From Now to the Future. *Frontiers in Plant Science*, 7 (1494) : 8 p.

**Carpentier A. 2010**. Economie de la production agricole et régulation de l'utilisation des pesticides : une synthèse critique de la littérature. INRA-UMR Smart et ENSAI, Rennes, 48 p.

**Cauquil J. 1990**. Nouveaux développements dans la protection contre les ravageurs du cotonnier en Afrique francophone au Sud du Sahara. *Coton et Fibres Tropicales*, 45 (1) : 45-58.

**Cauquil J., Vaissayre M. 1994**. Protection phytosanitaire du cotonnier en Afrique tropicale. - Nouvelle politique de protection et choix des pesticides. *Agriculture et développement*, 3 : 13-23.

**Cauquil, J., 1986**. Maladies et ravageurs du cotonnier en Afrique et au sud du Sahara. IRCT/ CIRAD/ CFDT, 92 p.

**Cauquil, J., Vincens, P., 1982**. Maladies et ravageurs du cotonnier en Centrafrique : expression des dégâts et moyens de lutte. In : CNEARC/FIC/PVED, *Protection intégrée des cultures en regions chaudes*. Montpellier : p. 58-86.

**Chabi S.K., Adoukonou-Sagbadja H., Ahoton L.E., Adebo I., Adigoun F.A., Saidou A., Kotchoni S.O., Ahanchede A., Baba-Moussa L. 2014**. Antimicrobial activity of *Anacardium occidentale* L. leaves and barks on pathogenic bacteria. *African Journal Microbiology research*, 8: 2458-2467.

**Charleston D.S., Kfir R., Dicke M. V., et L. E. M. 2005**. Impact of botanical pesticides derived from *Melia azedarach* and *Azadirachta indica* on the biology of two parasitoïd species of the diamondback moth. *Biological Control*, 33 (2)**:** 131-142.

**Chatri M., Baktiar A., Mansyurdin, Adnadi P. 2014**. Chemical components of essential oils of the leaves of *Hyptis suaveolens* (L.) Poit. from Indonesia. *American Journal of Research Communication*, 2 (10): 30-38.

**Cherry R., Nuessly G. 2010**. Repellency of the biopesticide, Azadirachtin, to wireworms (Coleoptera: Elateridae). *Florida Entomologist*, 93 (1) : 52-55.

**CIESLA W. M. 1993.** Qu'arrive-t-il au neem sahélien ? Unasylva. N°172.

**CIRAD. 2006.** *Le coton, fil des temps, des marches et des cultures.* Exposition du salon international de l'agriculture de Paris, Montpellier, 25 février-5 mars 2006. France: CIRAD, 15 p.

**Cloyd R.A. 2004**. Natural instincts Natural Indeed: Are Natural Insecticides Safer and Better than Conventional Insecticides? *Illinois Pesticide Review*, 17 (3) : 7 p.

**Conti B., Canale A., Cioni P. L., Flamini G., Rifici A. 2011.** *Hyptis suaveolens* and *Hyptis spicigera* (*Lamiaceae*) essential oils: qualitative analysis, contact toxicity and repellent activity against *Sitophilus granarius* (L.) (*Coleoptera: Dryophthoridae*). *Journal of Pest Science*, 84: 219–228.

**CTB (Trade for Development Centre). 2011**. Commerce équitable et commerce durable au Sénégal. Editeurs Carl MICHIELS, Bruxelles, 47 p.

**Cunningham J.P, Zalucki M.P, West S.A. 1999**. Learning in *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae): a new look at the behaviour and control of a polyphagous pest. *Bulletin of Entomological Research*, 89: 201–207.

**Dahake A.P., Joshi V.D., Joshi A.B. 2009.** Antimicrobial Screening of Different Extract of *Anacardium occidentale* Linn. Leaves, *International Journal of ChemTech Research*, 1 (4): 856-858.

**Deepthi Y., Kumar T.S., Srinivas N. 2017**. Review on *Hyptis suaveolens* (L.) poit (Lamiaceae) - A potential plant. *International Journal of Frontiers in Science and Technology*, 5 (4): 38-57.

**Deguine J.P., Ferron P., 2004**. Protection des cultures et développement durable, bilan et perspectives. *Courrier de l'environnement de l'INRA* n°52, p.57-65.

**Demol J., Drion A., Mergeai G., Hofs J.L., Delhove G., Berti F., Ndungo V., Mulamba N.L., Kibangula. A. 1991**. Le cotonnier au Zaïre - AGCD - Coopération Belge, Bruxelles, no. 29, 247 p.

**Derradji-Heffaf F., 2013**. Compostion chimique et activité insecticide de trois extraits végétaux à l'égard de *Sitophilus orizae* L. (Coleoptera : Curculionidae). Thèse de doctorat, ENSA, Algérie, 89 p.

**Dessauw D. 2016**. La plante et sa sélection. **In**: Crétenet M, Gourlot J-P, eds. *Le cotonnier*. Versailles : Ed. Quae, pp. 25-50.

**DéVAB. 2009. Favoriser les auxiliaires naturels en agriculture biologique. Fiche n° 3, 4 p.**

**Dhuyo A., Soomro N.M. 2007**. Efficacy of plant extracts against yellow rice stem borer, *Scirpophaga incertulas* (Walk.) in rice at Dokri, Sindh, Pakistan. *Pakistan Entomologist,* 29: 23-26.

**Diack M., Sène M., Badiane A.N., Diatta M., Dick R.P. 2000.** Decomposition of a native shrub, *Piliostigma reticulatum*, litter in soils of semiarid Senegal. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 14 (3) : 205-218.

**Diagne M. 2008**. La dynamique interprofessionnelle dans la filière coton. **In** : Citation exacte : Duteurtre G. et Dieye P.N. (coord.), 2008 : « Les organisations interprofessionnelles agricoles au Sénégal : de nouveaux outils de régulation des marchés ? », Bureau d'analyses macro-économiques de l'Institut sénégalais de recherches agricoles (Isra-Bame), Dakar, p. 75-80.

**Diatte M., Brévault T., Sall-Sy D., Diarra K. 2018**. Parasitoid control of the tomato fruitworm, *Helicoverpa armigera* in smallholder farmer fields in Senegal. *International Journal of Pest Management,* 64: 140-147.

**Didi G.J.R., Kone P.W.E., Ochou G.E.C., Dekoula S.C., Kouakou M., Bini K. K.N., Yao M.D. S., Mamadou D., Ochou G.O. 2018.** Évolution spatio-temporelle des infestations de la mouche blanche *Bemisia tabaci* (Gennadius, 1889) associées à la culture cotonnière en Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences,* 121: 12202-12210.

**Dieng E. O., Ndiaye S., Faye P. D., Balayara A., Badji K., Sembéne P. M. 2019.** New inventory of the diversity and seasonal abundance of Tephritid fruit fly species on mango orchards in Senegal. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 7(6) : 975-986.

**Dieng M. 2003**. Analyse des facteurs déterminants de la culture du coton au Sénégal. 79 p.

**Diongue I. 1986**. Protection raisonnée du cotonnier à travers une maitrise de l'évolution des populations d'insectes ravageurs. Rapport de stage de titularisation, Entomologie. Tambacounda : CRA de Tambacounda, 42 p.

**Diop J. 2013**. Surveillance des ennemis du cotonnier pour une meilleure gestion de la production au Sénégal. Mémoire, Protection durable des cultures et de l'environnement. Niamey : Centre régional AGRHYMET, 57 p.

**Diouf N., Mbaye M. S., Guèye M., Dieng B., Bassène C., Noba K. 2019**. La flore adventice des cultures cotonnières dans le Sénégal Oriental et en Haute Casamance. *International Journal of Biological and Chemical Sci*ences 13(3): 1720-1736.

**Djegui D.A. 2008**. Analyse comparative des méthodes efficaces de lutte biologique contre les ravageurs du cotonnier. 3rd international symposium of REARB and 1st symposium of COMEC/PV, 1-6 décembre 2008, Lomé (Togo), 51 p.

**Djibo A.K. 2000**. Analysis of the essential oils of some Burkina Faso plants belonging to the Lamiaceae family [*Hyptis spicigera* Lam., *Hyptis suaveolens* Poit., *Ocimum americanum* L.) and Poaceae (*Cymbogon schoenanthus* L Spreng, *Cymbogon gigenteus* Chiov and *Cymbogon citratus* (DC) Stapf). PhD Thesis, University of Ouagadougou, 140 p.

**Doliguez F., Konaté M.C. 2014**. Revue mi-parcours du Projet de développement du coton équitable et bioéquitable en Afrique de l'Ouest et du Centre. Rapport final, APROCA, IRAM, 136 p.

**Dougoud J., Toepfer S., Bateman M., Jenner W.H. 2019**. Efficacy of homemade botanical insecticides based on traditional knowledge. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 39 (37): 22 p.

**Douro K.O.K., Paraïso A., Djegui D.A., Maffon S., Glitho I.A., Tamo M., 2013**. Comparative study of the efficacy of entomopathogenic fungi, chemicals and botanical pesticides management of cotton pest and their natural enemies in Benin. *International Journal of Science and advanced Technology.* 3 (1) : 21-33.

**Dupin T. 2017**. Observation des ravageurs et leurs ennemis naturels dans des vergers d'agrumes menés avec des pratiques agroécologiques en Martinique. Mémoire, Produits phytosanitaire, Réglementations et Méthodes Alternatives, 35 p.

**Dushimirimana S., Manirakiza E., Gasogo A. 2016.** Etude de l'évolution et de la variabilité saisonnière des principaux ravageurs des caféiers en période de fructification. *Bulletin Scientifique sur l'Environnement et la Biodiversité.*

**Dzamic A., Gbolade A., Ristic M., Marin P.D. 2009**. Essential oil composition of *Anacardium occidentale* from Nigeria. *Chemistry of Natural Compounds*, 45 (3) : 441-442.

**ECOPHYTO. 2014**. Le rôle des auxiliaires en protection intégrée. Focus n°7, 13 p.

**Eshilokun A.O., Kasali, A.A., Giwa-Ajeniya A.O. 2005**. Chemical composition of essential oils of two *Hyptis suaveolens* (L.) Poit. leaves from Nigeria. *Flavour and Fragrance Journal*, 20 : 528-530.

**Fanou A., Baïmey H., Zandjanakou-Tachin M., Lawouin L. 2014**. Efficacité d'extraits botaniques et de Cydim Super dans la lutte contre la cochenille (*Dysmicoccus brevipes*)

associée à la maladie du wilt chez l'ananas. *International Journal of Biological and Chemical Sciences,* 8 (5): 2007-2014.

**FAO, 2014**. *Gestion intégrée de la production et des déprédateurs du coton,* Guide du facilitateur pour les champs école des producteurs. Rome, 79 p.

**FAO. 2015**. Mesurer la durabilité des systèmes de culture du coton, Vers un cadre d'orientation. Rapport Coton. 159 p.

**Feng H-Q., Wu X., Wu B., Wu K. 2009**. Seasonal migration of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) over the Bohai Sea. *Journal of Economic Entomology*, 102: 95-104.

**Ferrigno S., Ratter S.G., Ton P., Vodouhê D.S., Williamson S., Wilson J. 2005**. Organic cotton: a new development path for African smallholders? International Institute for environment and development, Gatekeeper series 120, 23 p.

**Ferron P., Deguine J-P, Ekorong à Mouté J. 2006**. Évolution de la protection phytosanitaire du cotonnier : un cas d'école. *Cahiers Agricultures*, 15 (1) : 128-134.

**FFB (Fibre Food Beauty). 2011**. Recueil des leçons tirées d'un projet de trois ans portant sur la réduction de la dépendance au coton et la lutte contre la pauvreté. Editeur : Alexandra Perschau, Layout : Kai Reimers, Hamburg, 48 p.

**FIRCA. 2009.** Etude préparatoire à la mise en œuvre du conseil agricole dans la filière coton. Rapport définitif validé lors de l'atelier organisé par le FIRCA du 17 au 19 juin 2009 à Grand-Bassam, 64 p.

**Flanchette S. 2011**. Au pays de Peuls de Haute-Casamance : l'intégration territoriale en question. Editions KARTHALA, Paris, 393 p.

**Gbedomon C.R, Sikirou R., Zannou E., Pomalegni S.C.B, Goergen G., Bokonon-Ganta H., Atachi P., Mensah G.A. 2012.** Extraits botaniques utilisés contre les arthropodes associés aux abeilles et produits de la ruche inventoriés dans les ruchers au centre du Bénin. *Actes du 3ème Colloque des Sciences*, Cultures et Technologies de l'UAC-Bénin, 573-588.

**Ghedira K., Goetz P. 2014**. *Azadirachta indica* A. Juss. – Neem, Meliaceae. *Phytothérapie*, 12 (4): 252–257.

**Gnago J. A., Danho M., Agneroh T.A., Fofana I.K., Kohou A.G. 2010**. Efficacité des extraits de neem (*Azadirachta indica*) et de papayer (*Carica papaya*) dans la lutte contre les insectes

ravageurs du gombo (*Abelmoschus esculentus*) et du chou (*Brassica oleracea*) en Côte d'Ivoire. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 4 (4): 953-966.

**Gnankiné O., Traoré D., Sanon A., Traoré N.S., Ouedraogo A.P. 2007.** Traitements insecticides et dynamique des populations de *Bemisia tabaci* Gennadius en culture cotonnière au Burkina Faso. *Cahiers Agricultures*, 16 (2): 101-109.

**Gonçalves G. Mara S., Gobbo J. 2012**. Antimicrobial Effect of *Anacardium occidentale* Extract and Cosmetic Formulation Development. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 55 (6): 843-850.

**Gopalakrishnan S., Rao G.V.R., Humayun P., Rao V.R., Alekhya G., Jacob S., Deepthi K., Vidya M.S., Srinivas V., Mamatha L., Rupela Om. 2011**. Efficacy of botanical extracts and entomopathogens on control of *Helicoverpa armigera* and Spodoptera litura. Afr J Biotechnol. *African Journal of Biotechnology*, 10 (73): 16667-16673.

**Grassi P., Nunes M.J., Varmuza K., Franz C. 2005.** Chemical polymorphism of essential oils of *Hyptis suaveolens* from El Salvador. *Flavour and Fragrance Journal*, 20 : 131-135.

**Guèye M.T. 2012**. Gestion intégrée des ravageurs de céréales et de légumineuses stockées au Sénégal par l'utilisation de substances issues de plantes. Thèse de doctorat, Université de Liège – Gembloux Agro-Bio Tech, 2016 p.

**Guèye M.T., Diallo A., Guèye S., Seck D., Assiedu E., Wathelet J-P, Lognay G. 2016**. Analysis of the composition of plant essential oil used in cereals and legumes storage in Senegal, *Journal of Essential Oil Baring Plants*, 19 (2): 403-409.

**Guèye M.T., Seck D., Wathelet J.P., Lognay G. 2011**. Lutte contre les ravageurs des stocks de céréales et de légumineuses au Sénégal et en Afrique occidentale : une revue. *Biotechnology, Agronomy and Society and Environment*, 15 (1): 187-198.

**Guèye S., Thiaw C., Gueye-Ndiaye A., Gueye M.T., Samb A., Sembène M. 2009.** Ovicid and adulticid effects of the petroleum ether and methanolic extracts of dried leaves of *Azadirachta indica* Juss. and *Lantana camara* l. on *Caryedon serratus* (Coleoptera, Bruchidae.). *Journal of Science, Vol*., 9 (4): 12-19.

**Gupta S.C., Prasad S., Tyagi A.K., Kunnumakkara A.B., Aggarwal B.B. 2017**. Neem (*Azadirachta indica*): An Indian traditional panacea with modern molecular basis. *Phytomedicine*, 34: 14-20.

**Hameed A., Shahzad M.S., Mehmood A., Ahmad S., Islam N-ul. 2014.** Forecasting and modeling of sucking insect complex of cotton under agro-ecosystem of multan- punjab, Pakistan. *Pakistan Journal Agricultural Sciences,* 51 (4): 997-1003**.**

**Harouna M. A., Baoua I., Lawali S., Tamò M., Amadou L., Mahamane S., Pittendrigh B. 2019.** Essai comparatif de l'utilisation des extraits du Neem et du virus entomopathogène *Mavi*NPV dans la gestion des insectes ravageurs du niébé en milieu paysan au Niger. *International Journal of Biological and Chemical Sciences,* 13 (2): 950-961.

**Hau B., Lançon J., Dessauw D., 1997**. Les cotonniers In : André Charrier, Michel Jacquot, Serge Hamon et Dominique Nicolas, l'amélioration des plantes tropicales, CIRAD/ ORSTOM, 241-265.

**Hernandez R.R., Debenport S.J., Leewis M.C.C.E., Ndoye F., Soumare A., Thuita M., Guèye M., Miambi E., Chapuis-Lardy L., Diédhiou I., Dick R.P. 2015**. The native shrub, *Piliostigma reticulatum*, as an ecological « resource island » for mango trees in the Sahel. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 204 : 51-61.

**IBIS. 2012**. Méthodes alternatives aux produits phytosanitaires. Guide pratique, fiche n° 4 : 23-28.

**ICAC. 2005**. World survey of cotton practices. Washington DC.

**Islam A.K.M.M., Ohno O., Suenaga K., Kato-Noguchi H. 2014**. Suaveolic Acid: A Potent Phytotoxic Substance of *Hyptis suaveolens, Hindawi. The Scientific World Journal*, 6 p.

**Isman M.B. 1997.** Neem and Other Botanical Insecticides: Barriers to Commercialization *Phytoparasitica,* 25 (4): 339-344.

**Jadhav D.R., Armes N.J., Bhatnagar V.S. 2013**. Incidence of winter and summer diapause in *Helicoverpa armigera* (Hubner) (Lepidoptera: Noctuidae) in Andhra Pradesh, India Asian. *Journal of Agricultural Sciences,* 5 (3): 40-51.

**Jaenson T.G.T., Palsson K., Borg-Karlson A.K. 2006.** Evaluation of extracts and oils of mosquito (diptera: culicidae) repellent plants from Sweden and Guinea-Bissau. *Journal of Medical Entomology*, 43: 113-119

**Johnson F., Ouossou K.R., Kanko C., Tonzibo Z.F., Foua-bi K. & Tano Y., 2018**. Bioefficacité des Huiles Essentielles de Trois Espèces végétales (*Ocimum gratissimum, Ocimum canum* et *Hyptis suaveolens*), de la Famille des Labiees dans la lutte contre *Sitophilus zeamais. European Journal of Scientific Research*, 150 (3): 273-284.

**Kamtchouinga P., Sokenga S.D., Moundipab P.F., Watchoa P., Jatsaa H.B., Lontsid D. 1998**. Effet protecteur de *Anacardium occidentale* sur l'action diabétogène de la streptozotocine chez les rats. *Journal of Ethnopharmacology,* 62: 95-99.

**Kannan V.R., Sumathi C.S., Balasubramanian V., Ramesh N. 2009**. Elementary Chemical Profiling and Antifungal Properties of Cashew (*Anacardium occidentale* L.) Nuts. *Botany Research International,* 2 (4): 253-257.

**Katary A., Djihinto A.C. 2007.** Evolution temporelle de la population de *Helicoverpa armigera* en culture cotonnière au Bénin. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin,* 58 :39-44.

**Kébé B. 1999**. Mise en Place d'un Système d'Alerte et d'Avertissement Agricole sur le Coton, Analyse d'un Suivi Phytosanitaire au Sénégal. Mémoire de fin de cycle, Ingénieur agronome. Thiès : E.N.S.A, 60 p.

**Kerharo J., Adam J.G. 1974.** La pharmacopée sénégalaise traditionnelle - plantes médicinales et toxiques. Paris : Éditions Vigot frères, 1011 p.

**Khelfane K. 2014**. Etude de l'activité insecticide des huiles essentielles et des poudres de quelques plantes à l'égard du bruche du haricot *Acanthocelides obectus* (*Coleoptera, Chrysomelidae, Bruchinae*) et comportement de ce ravageur vis-à-vis des composés volatils de différents variétés de la plante hôte (*Phaseolus vulgaris* L.). Thèse de doctorat en Ecologie et Biologie des populations, Algérie, 144 p.

**Kobenan K.C., Tia V.E., Ochou G.E.C., Kouakou M., Bini K.K.N., Dagnogo M., Dick A. E., Ochou G.O., 2018.** Comparaison du potentiel insecticide des huiles essentielles de *Ocimum gratissimum* L. et de *Ocimum canum* Sims sur *Pectinophora gossypiella* Saunders (Lepidoptera : Gelechiidae), insecte ravageur du cotonnier en Côte d'Ivoire. *European Scientific Journal*, 14 (21) : 286–301.

**Koné D. 2009**. Etude de la phytochimie et des activités larvicide, anticholinerasique et antioxydante de quatre plantes : *Acacia nilotica, Calotropis procera, Euphorbia sudanica et Hyptis suaveolens.* Thèse de doctorat, en pharmacie, Faculté de Médecine, de Pharmacie et d'Odonto-Stomatologie, Mali, 92p.

**Koné P.W.E, Ochou G.E.C., Didi G.J.R., Dekoula S.C., Kouakou M., Bini K.K.N., Mamadou D., Ochou O.G. 2017.** Evolution spatiale et temporelle des dégâts du jasside *Jacobiella facialis* Jacobi, 1912 (*Cicadellidae*) en comparaison avec la distribution de la

pluviométrie au cours des vingt dernières années dans les zones de culture cotonnière en Côte d'Ivoire. *International Journal of Biological and Chemical Sciences,* 11 (3): 1190-1201.

**Kossou D.K., Atachi P., Zannou T.E., Bougourou S. 2007.** Evaluation de l'activité insecticide de deux plantes *Hyptis suaveolens* (Linn) et *Khaya senegalensis* (A. Juss) sur les insectes ravageurs du niébé (*Vigna unguiculata* L. Walp.). *Sciences & Nature,* 4 (1) : 17 – 26.

**Kossou K.D., Gbehounou G., Bouraima Y., Huis A., Ahanchede A., Ahohuendo B., Bokonon-Ganta A.H. 2000.** Extrait aqueux de *Hyptis suaveolens* plante nouvellement identifiée au Bénin pour le contrôle des insectes nuisibles du niébé au champ. Projet Niébé BJ 002906, Bénin. 32 p.

**Kouakou G.E. 2004.** Le coton biologique et / ou équitable en Afrique de l'Ouest : état des lieux. Editeur Carl MICHIELS, Bruxelles, 26p.

**Koul O., Isman M. B., Ketkar C.M. 1990**. Properties and uses of neem, *Azadirachta indica*. *Can. J. Bot*., 68: 1-11.

**Kpoviessi D.A., Dossou J., Chougourou D.C., Bokonon-Ganta A.H., Francisco R.A., Fassinou-Hotegni N.V. 2017**. Evaluation de l'effet insecticide et insectifuge du baume de cajou sur les insectes nuisibles du niébé *Vigna Unguiculata* (L.) Walp.au Champ. *European Journal of Scientific Research*, 146 (4): 417-432.

**Lammers J.W., MacLeod A. 2007.** Report of a Pest Risk Analysis *Helicoverpa armigera (Hübner, 1808).* Plant Protection Service (NL) and Central Science Laboratory (UK), 18 p.

**Lautié E., Dorniera M., M. de Souza Filhoc, Reynesa M. 2001**. Les produits de l'anacardier : caractéristiques, voies de valorisation et marchés. Fruits, 56 (4) : 235-2483.

**Lavabre E.M. 1992.** Ravageurs des cultures tropicales. Le technicien d'agriculture tropicale, Editions Maisonneuve et Larose, Paris, 178 p.

**Lefebvre A. 1969**. L'anacardier, une richesse de Madagascar. *Fruits*, Vol. 24, no 1, p. 43-61.

**Leite A. de S., Islam M.T., Gomes A.L.J., João, Sousa M. de C., Alencar M.V.O.B., Fernanda M., Paz C.J., Rolim H.M.L., Medeiros M. das G.F., Ana, Melo-Cavalcante A. de C., & Lopes J.A.D. 2016**. Pharmacological properties of cashew (*Anacardium occidentale*) *African Journal of Biotechnology*, 15 (35): 1855-1863.

**Levrat R., 2008**. Le coton en Afrique occidentale et centrale avant 1950, *Un exemple de la politique coloniale de la France,* Editions l'Harmattan, Paris, 370 p.

**Lu Z.Z., Baker G. 2013**. Spatial and temporal dynamics of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera, Noctuidae) in contrasting agricultural landscapes in northwestern China. *International Journal of Pest Management*, 59: 25-34

**Ma D., Gordh G., Zalucki M.P. 2000**. Biological effects of azadirachtin on *Helicoverpa armigera* (Hübner) (*Lepidoptera: Noctuidae*) fed on cotton and artificial diet. *Australian Journal of Entomology*, 39 (4): 301–304.

**Maia J.G.S., Andrade E.H.A., Zoghbi M.D.G.B. 2000**. Volatile Constituents of the Leaves, Fruits and Flowers of Cashew (*Anacardium occidentale* L.). *Journal of Food Composition and Analysis*, 13 (3): 227-232.

**Malele R. S., Mutayabarwa C. K., Mwangi J. W., Th oithi G. N., Lucini E. I., Zygadio J. A. 2003.** Essential oil of *Hyptis suaveolens* (L.) Poit. from Tanzania: Composition and antifungal activity. *Journal of Essential Oil Research.*, 15: 438-440

**Mansfield S., Elias N.V., Lytton-Hitchins J.A. 2003**. Ants as egg predators of *Helicoverpa* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) in Australian cotton crops. *Australian Journal of Entomology*, 42 (4) : 349-351.

**Martin J-P. 1970**. *Le cotonnier et quelques autres plantes à fibres tropicales*. Abidjan : Ecole Nationale Supérieure Agronomique, 91 p.

**Martin T., Chandre F., Ochou O.G., Vaissayre M., Fournier D. 2002**. Pyrethroid resistance mechanisms in the cotton bollworm *Helicoverpa armigera* (*Lepidoptera: Noctuidae*) from West Africa. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 74 (1): 17-26.

**Martin T., Ochou G.O., N'klo F.H., Vassal J.M., Vaissayre M. 2000**. Pyrethroid resistance in the cotton bollworm, Helicoverpa armigera (Hubner), in West Africa. *Pest Management Science*, 56: 549-554.

**Martins F.T., Santos M.H., Polo M., Barbosa L.C.A. 2006.** Variacao quimica do oleo essencial de *Hyptis suaveolens* (L.) Poit., sob condiçoes de cultivo. *Quim Nova*, 29: 1203-1209.

**Martins F.T., Santos M.H., Polo M., Barbosa L.C.A. 2007.** Effects of the interactions among macronutrients, plant age and photoperiod in the composition of *Hyptis suaveolens* (L.) Poit essential oil from Alfenas (MG), Brazil. *Flavour and Fragrance Journal*, 22: 123-129.

**Mbaye A., 2019.** Situation du développement du coton bio-équitable et équitable au Sénégal. Situation actuelle du coton bio-équitable en Afrique de l'ouest, 17 p.

**Menessong N. T. 2014**. Abondance et origine trophique de la noctuelle de la tomate (*Helicoverpa armigera*) dans les paysages ruraux de production cotonnière au nord Bénin. Thèse de doctorat, Ecole des Sciences Ecologiques, Vétérinaires, Agronomiques et Bioingénieries, Toulouse, France. 195 p.

**Michel B., Togola M., Téréta I., Traoré N.N. 2000.** La lutte contre les ravageurs du cotonnier au Mali · problématique et évolution récente. *Cahiers Agricultures*, 9 (l): 09-15.

**Midega C.A.O., Nyang'au I.M., Pittchar J., Birkett M.A., Pickett J.A., Borges M., Khan Z.R. 2012.** Farmers' perceptions of cotton pests and their management in western Kenya. *Crop Protection*, 42: 193-201.

**Miranda J.E., Rodriges S.M.M., Almeida R.P., Silva C.A.D., Togola M., Hema S.A.O., Somé N.H., Bonni G., Adegnika M.O., Doyam A.N., Diambo B.L., 2013**. *Reconnaissance de ravageurs et ennemies naturels pour les pays*. Brasília, DF, Brésil : Embrapa, 70 p.

**Mochiah M., Banful B., Fening K. 2011**. Botanicals for the management of insect pests in organic vegetable production. *Journal of Entomology and Nematology*, 3 (6): 85-97.

**Mondédji A.D., Kasseney B.D., Nyamador W.S., Abbey G.A., Amévoin K., Ketoh G.K., Glitho I.A. 2016a.** Effets d'extrait hydroéthanolique de feuilles de neem (*Azadirachta indica* A. Juss) sur *Plutella xylostella* (*Lepidoptera: Plutellidae*) et *Lipaphis erysimi* (*Hemiptera: Aphididae*) dans la production du chou au Sud du Togo. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 10 (4): 1666-1677.

**Mondédji A.D., Kasseney B.D., Nyamador W.S., Abbey G.A., Amévoin K., Ketoh G.K., Glitho I.A. 2016b.** Effects of aqueous neem leaves extract on 4th stage larvae of diamondback moth *plutella xylostella*. (*Lepidoptera: plutellidae*). *REV. CAMES*, 4 (01): 22-26.

**Mondédji A.D., Ketoh G.K., Amévoin K., Ameline A., Giordanengo P., Glitho I.A. 2014a.** Evaluation of neem leaves-based preparations as insecticidal agents against the green peach aphid, Myzus persicae (*Sternorrhyncha: Aphididae*). *African Journal of Agricultural Research*, 9 (17): 1344–1352.

**Mondédji A.D., Nyamador W.S., Amevoin K., Adéoti R., Abbey G.A., Ketoh G.K., Glitho I.A. 2015**. Analyse de quelques aspects du système de production légumière et perception des producteurs de l'utilisation d'extraits botaniques dans la gestion des insectes ravageurs des cultures maraîchères au Sud du Togo. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9 (1): 98-107.

**Mondédji A.D., Nyamador W.S., Amévoin K., Ketoh G.K., Glitho I.A. 2014b.** Efficacité d'extraits de feuilles de neem *Azadirachta indica* (Sapindale) sur *Plutella xylostella* (*Lepidoptera: Plutellidae*), *Hellula undalis* (*Lepidoptera: Pyralidae*) et *Lipaphis erysimi* (*Hemiptera: Aphididae*) du chou *Brassica oleracea* (*Brassicaceae*) dans une approche « Champ Ecole Paysan» au sud du Togo. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 8 (5) : 2286-2295.

**Multigner L. 2005**. Effets retardés des pesticides sur la santé humaine, Environnement, Risques & Santé, 4 (3) : 187-194.

**N'Guessan A.H., N'Guessan K.F., Kouassi K.P., Kouamé N.N., N'Guessan P.W. 2014**. Dynamique des populations du foreur des tiges du cacaoyer, *Eulophonotus myrmeleon* Felder (Lépidoptère : *Cossidae*) dans la région du Haut-Sassandra en Côte d'ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, 83: 7606– 7614.

**N'Guessan B.B., Dosso K., Gnangoran B.N., Amoateng P., Asiedu-Gyekye I.J., Yapo A. P. 2015.** Antibacterial and antispasmodic activities of a dichloromethane fraction of an ethanol extract of stem bark of *Piliostigma reticulatum. Journal of pharmacy & bioallied sciences*, 7 (2): 128-135.

**Nboyine J.A., Abudulai M., Opare-Atakora D.Y. 2013**. Field efficacy of neem (*Azadirachta indica a.* juss) based biopesticides for the management of insect-pests of cotton in northern Ghana. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*, 1(4): 321-327.

**Ndour A., Loison R., Gourlot J-P., Ba K. Seydi, Dieng A., Clouvel P. 2017**. Changement climatique et production cotonnière au Sénégal : concevoir autrement les stratégies de diffusion des variétés, *Biotechnology, Agronomy and Society and Environment.*, 21 (1) : 22-35.

**Ngamo T.S.L., Ngatanko I., Ngassoum M.B., Mapongmestsem P.M., Hance T. 2007**. Persistence of insecticidal activities of crude essential oils of three aromatic plants towards four major stored product insect pests. *African Journal of Agricultural Research*, 2 (4): 173-177.

**Ngom S., Diop M., Mbengue M., Faye F., Kornprobst J. M., Samb A. 2014**. Composition chimique et propriétés antibactériennes des huiles essentielles d'*Ocimum basilicumet* et *d'Hyptis suaveolens* (L.) Poit récoltés dans la région de Dakar au Sénégal. *Afrique SCIENCE*, 10 (4): 109 – 117.

**Ngom S., Perez R.C., Mbow M.A., Fall R., Niassy S., Cosoveanu A., Diop S.M., Ndiaye E. H.B., Diop M., Lognay G. 2018**. Larvicidal activity of Neem oil and three plant essential oils

from Senegal against *Chrysodeixis chalcites* (Esper, 1789). *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 8 (1) : 67-72.

**Nibouche S. 1994**. Cycle évolutif de *Helicoverpa armigera* (Hubner, 1808) (Lepidoptera, Noctuidae) dans l'Ouest du Burkina Faso : biologie, écologie et variabilité géographique des populations. PhD Thesis, Ecole Nationale supérieure Agronomique, Montpellier, France, 143 p.

**Noudogbessi J.P., Agbangnan P., Yehouenou B., Adjalian E., Nonviho G., Osseni M. A., Wotto V., Figueredo G., Chalchat J. C. Sohounhloue D**. **2013.** Physico-chemical properties of *Hyptis suaveolens* essential oil. *International Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 3(2): 191-199.

**OCDE. 2005**. Importance économique et sociale du coton en Afrique de l'ouest : rôle du coton dans le développement le commerce et les moyens d'existence. 72 p.

**Ochou G.E.C., Kobenan K.C., Dekoula C.S., Koné P.W.E., Didi R., Kouakou M., Bini K. K.N., Mamadou D., Dick A.E., Ochou O.G. 2018b.** Caractéristiques de l'évolution spatio-temporelle de *Thaumatotibia leucotreta* Meyrick (Lepidoptera : Tortricidae) dans les zones de production cotonnière de Côte d'Ivoire. *European Scientific Journal*, 14 (21) : 261-277.

**Ochou G.E.C., Kobenan K.C., Koné P.W.E., Didi G.J.R., Dick A.E., Mamadou D., Ochou O.G. 2019.** Caractéristiques de l'évolution spatio-temporelle de *Helicoverpa armigera* Hübner (*Lepidoptera - Noctuidae*) dans les zones de production cotonnière de Côte d'Ivoire : impact du programme de gestion de la resistance aux pyréthrinoïdes. *International Journal of Innovation and Applied Studies,* 27 (1): 249-261.

**Ochou G.O., Doffou M.N., N'goran E.K., Kouassi P.K. 2012.** Impact de la gestion de la résistance aux pyrethrinoïdes sur l'évolution spatio-temporelle des principaux lépidoptères carpophages du cotonnier en Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, 53 : 3831 – 3847.

**Ochou O.G., Kouakou M., Bini K.K.N. 2018a**. Rapport Préliminaire : programme régional de protection intégrée du cotonnier en Afrique, volet Côte d'Ivoire (Phase II), 93 p.

**OECD. 2004**. Consensus Document on Compositional Considerations for New Varieties of Cotton (*Gossypium hirsutum and Gossypium barbadense*): Key Food and Feed Nutrients and Anti-nutrients. OECD Series on the Safety of Novel Foods and Feeds No. 11. OECD, Paris. 32 p.

**OEPP/EPPO. 2003**. *Helicoverpa armigera.* Protocoles de diagnostic pour les organismes réglementés, Bulletin 33, 245–247.

**Ogah E.O., Ogbodo E.N. 2012**. Comparative efficacy of neem seed extract with carbofuran in the management of African rice gall midge, *Orseolia oryzivora* Harris and Gagne (*Diptera: Cecidomyppdae*). *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*. 2 (5): 147-153.

**Okigbo R.N., Okeke J.J., Madu N.C. 2010**. Larvicidal effects of *Azadirachta indica*, *Ocimum gratissimum* and *Hyptis suaveolens* against mosquito larvae. *Journal of Agricultural Technology*, 6 (4): 703-719.

**Oparaeke A.M., Dike M.C., Amatobi C.I., Hammond W. 2002**. Preliminary study on Clove, Syszigium aromaticum Merr. And Perr. a potentiel source of insecticide. *Nigerian Journal of Agriculture Extension*, 13: 178-181.

**Oparaeke A.M., Ejokoghene O. 2008.** Sensivity of *Callosobruchus maculatus* Fab. to *Prosopis africana* and *Anacardium occidentale* on stored cowpea. 3rd international symposium of REARB and 1st symposium of COMEC/PV, 1-6 décembre 2008, Lomé (Togo), 51 p.

**PAN AFRICA. 2002.** Lutte contre les ravageurs, sécurité alimentaire et coton biologique au Sénégal, A report for PAN UK's Pesticides Poverty and Livelihoods project, 34 p.

**Peerzada N. 1997.** Chemical Composition of the Essential Oil of *Hyptis Suaveolens***.** *Molecules*, 2: 165-168.

**Pérez-Guerrero S., Gelan-Begna A., Vargas-Osuna E. 2014**. Impact of *Cheiracanthium pelasgicum* (Araneae: Miturgidae) and *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae) intraguild predation on the potential control of cotton pest *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). *Biocontrol Science and Technology*, 24: 216-228.

**PR-PICA, 2014**. Suivi de la sensibilité des ravageurs aux insecticides chimiques. 7ème réunion bilan, 16-18 Avril, Dakar, 25 p.

**PR-PICA. 2017**. Surveillance des infestations parasitaires en culture cotonnière en Afrique de l'Ouest. 10ème Réunion bilan du PR-PICA, Yamoussoukro 24-26 avril, 48 p.

**PR-PICA. 2018.** Surveillance des infestations parasitaires en culture cotonnière en Afrique de l'Ouest. 11ème Réunion bilan du PR-PICA, Lomé 18-20avril, 64 p.

**PR-PICA. 2019a.** Situation de la campagne cotonnière 2018 / 2019 au Sénégal. 12ème Réunion bilan du PR-PICA, Cotonou 10-12 avril, 13 p.

**PR-PICA. 2019b.** Surveillance parasitaire et phytosanitaire en culture cotonnière en Afrique de l'Ouest. 12ème Réunion bilan du PR-PICA, Cotonou 10-12 avril, 50 p.

**PR-PICA. 2019c.** Campagne cotonnière 2019/2020 : situations pluviométrique et parasitaire dans les pays du PR-PICA. Bulletin d'information du PR-PICA n° 29, 5 p.

**PURI, H.S. 1999**. Neem the divine tree, *Azadiracta indica.* Medecinal and Aromatic Plants-Industrials Profiles, 1079 LH Amsterdam, 165 p.

**Rabari G.N, Pareek A., Patel B.R. 2017**. Comparative biology of *Helicoverpa armigera* (HUBNER) reared on tomato during different seasons. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 5(2): 657-663.

**Rafiq M., Dahot M.U., Naqvi S.H., Mali M., Ali N. 2012.** Efficacy of neem (*Azadirachta indica* A. Juss) callus and cells suspension extracts against three lepidopteron insects of cotton. *Journal of medicinal plant research*, 6 (40): 5344-5349.

**Raja N., Jeyasankar A., Jeyakumar V.S., Ignacimuthu S. 2005**. Efficacy of *Hyptis suaveolens* against lepidopteran pests. *Current Science*, 88 (2): 220-222.

**Régnault-Roger C., Philogène B.J. R., Vincent C. 2008.** Biopesticides d'origine végétale (2e éd) : Lavoisier, 576 p.

**Régnault-Roger C., Philogène B.J.R., Vincent C. 2006.** Biopesticides d'origine végétale. *TROPICULTURA*, 24 (2) : 128.

**Renou A., Brévault T. 2016**. Ravageurs et maladies du cotonnier, et gestion intégrée des ravageurs. **In** : Crétenet M, Gourlot J-P, eds. *Le cotonnier*. Versailles : Ed. Quae, 109-154.

**Romain E.**, **Thiam A. 1993.** Expérimentation des plantes insecticides en milieu paysan sénégalais. Protection naturelle des végétaux en Afrique – environnement africain, ENDA, Série *Etudes et Recherches*, n° 154-155-156: 170–192.

**Sall M. 2007**. Le coton au Sénégal. ISRA, 20 p.

**Sané B., Badiane D., Guèye M.T., Faye O. 2018**. Évaluation de l'efficacité biologique d'extraits de neem (*Azadirachta indica)* comme alternatif aux pyréthrinoïdes pour le contrôle des principaux ravageurs du cotonnier (*Gossypium hirsutum*) au Sénégal. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 12 (1): 157-167.

**Sanon A., Sou S., Dabiré C., Ouedraogo A.P., Huignard J. 2005.** Combining *Boscia senegalensis* Lamarck (Capparaceae) Leaves and Augmentation of the Larval Parasitoid

Dinarmus basalis Rondani (Hymenoptera: Pteromalidae) for Bruchid Control in Stored Cowpeas. *Journal of Entomology*, 2 (1): 40-45.

**Santos FO., Angélico E.C., Costa J.G.M. da, Rodrigues F.F.G., Rodrigues O.G., Medeiros R.S.de. 2013**. Antibacterial evaluation of *Anacardium occidentale* (Linn) (*Anacardiaceae*) in semiarid Brazil. 12 (30): 4836-4840.

**Schmale I., Wackers F.L., Cardona C., Dorn S. 2002**. Combining parasitoids and plant resistance for the control of the bruchid Acanthoscelides obtectus in stored beans. *Journal of Stored Products Research*, 39: 401-411.

**Schmutterer H. 1988.** Potential of azadirachtin-containing pesticides for integrated pest control in developing and industrialized countries. *Journal of Insect Physiology*, 34 (7):713-719.

**Sément G. 1986.** *Le cotonnier en Afrique tropicale*. Coll. Le technicien d'agriculture tropicale, 5. Paris : Édition Maisonneuve-Larose, 133 p.

**Shafiq M.A., Nadeem A., Fazil H. 2012**. Potential of Biopepticides in Sustainable Agriculture, Strategies for Sustainability. *Environmental Protection Strategies for Sustainable Development*, 529-595.

**Shaikat Md.Z.H., Hossain Md.T., Azam Md.G. 2012.** Phytochemical Screening and Antidiarrhoeal Activity of *Hyptis suaveolens*. *International Journal of Applied Research in Natural Products*, 5 (2): 1-4.

**Sharma K.C., Bhardwaj S.C., Sharma G. 2011**. Systematic Studies, Life History and Infestation by *Helicoverpa armigera* (Hubner) (Lepidoptera: Noctuidae) on Tomato in Semi-Arid Region of Rajasthan. *Biological Forum - An International Journal*, 3 (1): 52-56.

**Sharma P.P., Roy R.K., Anurag, Gupta D., Vipin K.S. 2013**. *Hyptis suaveolens* (L.) poit: A phyto-pharmacological review. *International Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences*, 4 (1): 1-11.

**Singh R.K., Khan S.A., Murawat K., Sharma P. 2012**. Neem the Miracle Tree- A Medicinal and Dental Update. *Asian Journal of Oral Health & Allied Sciences*, 2 (2): 84-86.

**Sinzogan A.A.C., Van Huis A., Kossou D.K., Jiggins J., Vodouhè S. 2004.** Farmers' knowledge and perception of cotton pests and pest control practices in Benin: results of a diagnostic study. *NJAS Wageningen*, Life Science Journal, 52: 285-303.

**Sithanantham S., Abera T.H., Baumgärtner J., Hassan S.A. 2001**. Egg parasitoids for augmentative biological control of lepidopteran vegetable pests in Africa: Research status and needs. *Cambridge University Press*, 21 (3): 189-205.

**Sokenga S.D., Kamtchouingb P., Watchob P., Jatsab H.B., Moundipac P.F., Ngounoub F.N., Lontsid D., Bopelet M. 2001**. Activité hypoglycémiante de l'extrait aqueux d'*Anacardium occidentale* L. chez les rats normaux et diabétiques induits à la streptozotocine. *Diabetes Research*, 36 : 001-009.

**Sougnabe S.P., Yandia A., Acheleke J., Brévault T., Vaissayre M. et al. 2010.** Pratiques phytosanitaires paysannes dans les savanes d'Afrique centrale. L. SEINY-BOUKAR, P. BOUMARD. Savanes africaines en développement : innover pour durer, Apr 2009, Garoua, Cameroon. Cirad, 13 p.

**Sow G.**, **Niassy S.**, **Arvanitakis L.**, **Bordat D.**, **Diarra K. 2012**. The use of *Bacillus thuringiensis* and Neem alternation on *Plutella xylostella* (*Lepidoptera: Plutellidae*) and its effects on natural enemies in cabbage production. In: Proceedings of the second International Symposium on Horticulture in Europe. Second Symposium on Horticulture in Europe. Angers, France, 1st - 5th july 2012.

**Stoll G. 2002**. *Protection Naturelle des Végétaux en Zones Tropicales*. Margraf Verlag, Weikersheim, Allemagne: CTA, 386 p.

**Strickman D., Frances S.P., Debboun M. 2009**. *Prevention of Bug Bites, Stings, and Disease.* Oxford University Press: New York, 323 p.

**Subapriya R, Nagini S., 2005**. Medicinal properties of neem leaves: a review. Curr Med Chem Anticancer Agents. 5 (2): 149-6.

**Tano D.K.C., N'Depo O.R., N'Guessan A.P., Obodji A., Yéboué N'G.L., Aboua L.R.N. 2019**. Effet insecticide des extraits aqueux de deux plantes sur *Hellula undalis* Fabricius, 1781 (*Lepidoptera : Pyralidae*), ravageur de la culture de chou *Brassica oleracea* L. (Daloa, Côte d'Ivoire). *European Journal of Scientific Research*, 154 (2): 168-180.

**Thiam A.**, **Sagna M.B. 2009.** Monitoring de pesticides au niveau des communautés à la base. Rapport regional Afrique, PAN AFRICA, Dakar – Sénégal, 57 p.

**Toguebaye B.S., Couilloud R. 1982**. Etude descriptive de l'œuf et des stades larvaires *d'Heliothis annigera* (Hübner 1908) (Lepidoptera Noctuidae) en microscopie électronique à balayage. *Coton et Fibres tropicales*, 37 : 197-209.

**Tonzibo Z.F., Florence A.B., Bedi G., Chalchat J-C. 2009**. Chemical composition of essential oil of *Hyptis suaveolens* from Côte d'Ivoire. *European Journal of Scientific Research*, 38 (4): 565-571.

**Tounou A.K., Sokame B.M., Akpavi S., Ganyo K.K., Ketoh K.G., Gumedzoe Y.M.D. 2012.** Effets des extraits végétaux sur la dynamique de populations des insectes ravageurs de niébé, *vigna unguiculata* Walp, dans le sud du togo. *Journal de la Recherche Scientifique de l'Univ*ersité de Lomé, 14 (1): 25-34.

**Traoré O., 2008**. Les succès de la lutte intégrée contre les ravageurs du cotonnier en Afrique de l'Ouest. 16-21 novembre 2008, Ouagadougou (Burkina Faso) : (INERA), *Programme Coton*, 11p.

**Traoré O., Sereme A., Dabire C.M., Some K., Nebie R.H.C. 2015**. Effet des extraits du thé de Gambie (*Lippia multiflora* Moldenk) et du neem (*Azadirachta indica* A. Juss.) sur *Helicoverpa armigera* et les Thrips de la tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Journal of Applied Biosciences,* 95 : 8930– 8936.

**UEMOA / ITC. 2014**. L'or blanc d'Afrique de l'ouest à la conquête du marché mondial. Brochure Coton de l'UEMOA, 21 p.

**UEMOA. 2010**. Coton de l'UEMOA : L'Or Blanc d'Afrique de l'Ouest à la Conquête du Marché Mondial. Ouagadougou, Burkina Faso : UEMOA, 21p.

**Ulrichs C., Mewis I., Schnitzler W.H. 2001**. Efficacy of neem and diatomaceous earth against cowpea aphids and their deleterious effect on predating Coccinelidae. *Journal of Applied Entomol*ogy, 125: 571-575.

**Vaissayre M. 1983**. Association pyréthrinoïde-organophosphoré pour la protection des cultures cotonnières : choix des proportions les plus efficaces. *Coton et Fibres Tropicales,* 37 (3) :269-273.

**Vaissayre M. Ochou G.O., Hema O.S.A., Togola M. 2006**. Quelles stratégies pour une gestion durable des ravageurs du cotonnier en Afrique subsaharienne **?** *Cahiers Agricultures*, 15 (1) : 80-84.

**Vaissayre M., Cauquil J., 2000**. *Principaux ravageurs et maladies du cotonnier en Afrique au Sud du Sahara*. Edition Quae, France: CIRAD-CTA, 60 p.

**Wendel J.F., Brubaker C.L., Tosak S. 2009**. The Origin and Evolution of *Gossypium*. **In**: Stewart J. M., Oosterhuis D. M., Heitholt J. J., Mauney J. R. (eds) Physiology of Cotton, Springer, Netherlands, 1-18.

**Yarou B.B., Silvie P., Komlan F.A., Mensah A., Alabi T., Verheggen F., Francis F. 2017.** Plantes pesticides et protection des cultures maraichères en Afrique de l'Ouest (synthèse bibliographique). *Biotechnology, Agronomy and Society and Environment,* 21 (4): 288-304.

**Yelemou B., Bationo B.A., Yameogo G., Millogo-Rasolodimby J. 2007.** Gestion traditionnelle et usages de *Piliostigma reticulatum* sur le Plateau central du Burkina Faso. *BOIS ET FORÊTS DES TROPIQUES,* 291 (1) : 55-66.

**Zinsou V.A., Afouda L.A.C., Hougni A., Affomassè S.S., Sèkloka E. 2015**. Distribution de la bactériose du cotonnier au Bénin et sensibilité des variétés locales à ses attaques. *Tropicultura,* 33 (1) : 55-62.

## ANNEXE

### Annexe 1 : Itinéraire technique adopté pour la réalisation des 3 essais en station

| | |
|---|---|
| **Préparation du sol** | Un labour croisé a été effectué avec un tracteur après épandage de fumier à raison de 4 t/ha. Ensuite le sol a été nivelé pour avoir une surface plane. |
| **Semis** | Après délimitation de la parcelle d'essai, les cotonniers ont été semés sur des lignes tracées à l'aide d'un rayonneur. Le semis est réalisé grâce à un semoir à raison de 2 à 3 graines par poquet. L'écartement est de 0,80 m entre les lignes et 0,20 m entre les poquets. Des ressemis sont effectués au niveau des poquets où les plants n'ont pas levé. Ensuite un démariage est fait avec 2 plants de cotonnier par poquets à 5 jours après levée (JAL). |
| **Fertilisation** | Le complexe d'engrais N.P.K.S.B. (14.23.14.5.1) a été appliqué par épandage comme fumure de fond au moment du semis dans la culture du cotonnier en raison de 200 kg/ha. L'urée, fumure azotée, est apportée au début de la floraison à raison de 50 kg/ha. |
| **Entretien des parcelles d'essai** | Pour limiter au maximum la concurrence avec les adventices, au moins 3 séries de sarclage sont opérées. Un buttage est également effectué au 45$^{ème}$ JAL pour favoriser un bon développement des racines et un bon drainage de l'eau. |

## Annexe 2 : Fiche d'enquête

N° de questionnaire …

Nom de l'enquêteur : ……

Date de l'enquête : ……

**1. Localité**

Village : ……

Commune : …….

Département : …….

Région : ……...

Zone : …….

GIE : ……

**2. Identification de l'enquêté**

Nom :……

Sexe : M □ F □

Age : …….

Ethnie : ……

Niveau d'instruction :

□ Ecole française : primaire secondaire étude supérieure

□ Ecole coranique

□ Arabe

□ Alphabétisation

□ Autre

Situation familiale : marié □ célibataire □ divorcé □ veuf (e) □

Nombre de femmes : ……

Nombre d'enfants : …….

**3. Informations relatives à la culture du cotonnier**

Nombre d'années dans la culture du cotonnier : …….

Est-il votre principale culture : Oui □ Non □

Si oui cultivez-vous autres choses, si non quelles sont vos principales cultures par ordre d'importance (préciser la superficie des champs) :

1 : ……

2 : ……

3 : ……

4 : ……

5 : ……

Combien de champs de cotonnier cultivez-vous ?.....

Etes-vous le Propriétaire du (des) champ (s) ?.....

Nombre de personnes en activité dans le champ de coton (nombre d'actifs) :

 Famille…… Main d'œuvre payée…….

Estimation de la production cotonnière : …….

**4. Connaissance sur les adventices**

Avez-vous des problèmes d'enherbement ? Oui  Non 

Si oui, quels sont les mesures de lutte ?  Sarclage  Herbicidage

Si herbicidage, quels produits utilisez-vous ? ……..

……...

**5. Connaissance des ravageurs et maladies**

Connaissez – vous les ravageurs qui infestent votre champ de coton ? Oui  Non 

Si oui citez-les par ordre d'importance et chronologique

1 : …….

2 : …….

3 : …….

4 : …….

5 : …….

6 : …….

Connaissez – vous les maladies qui attaquent votre champ de coton ? Oui  Non 

Si oui citez-les par ordre d'importance et chronologique

1 : …….

2 : …….

3 : …….

Pourquoi n'utilisez-vous pas de pesticides chimiques pour le coton ?

…… ……
……
……
……

……..

**6. Alternative aux pesticides**

Utilisez – vous des produits naturels à la place des pesticides ?

Oui  Non 

Si oui citez-les :

……
……
……
…….

Si c'est à base de plantes :

| **Nom de la plante** | **Provenance** | **Disponibilité** | **Partie de la plante utilisée** | **Technique de fabrication** | **Méthode d'application** | **Observations** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | pérenne<br>saisonnière<br>autochtone<br>annuel<br>accessible<br>difficile à avoir | | | | |

Comment connaissez-vous les vertus de ces plantes : ONG formation Autre à préciser

## 7. Commercialisation

Comment se fait la commercialisation : □ sur place □ au marché

Qui sont vos principaux acheteurs :

1 : ……

2 : …….

Commercialisez – vous à l'étranger ? Oui □ Non □

Si oui vers quels pays :

1 : …….

2 : …….

Observez – vous des cas de méventes ?

Si oui quelles sont les raisons : …….

## 8. Qualité de la production

Type de sac à la récolte : ……

Faites- vous un contrôle de qualité ? Oui □ Non □

Si oui avec qui …….

Et où ? ……..

Avez – vous des contraintes de commercialisation liés à un problème de qualité ?

Oui □ Non □

Si oui quand et avec qui ? ……

Si le coton est de mauvaise qualité, quelle (s) est (sont) la (les) cause (s) : …….....

……..

## Annexe 3 : Insecticides recommandés dans la protection du cotonnier au Sénégal

| Principe actifs | Dose optimale | Familles chimiques | Insectes ciblés |
|---|---|---|---|
| Acéphate | 970 g/ha | Organophosphoré | *Bemisia tabaci* (fin de cycle) |
| Acétamirpide + Cyperméthrine | (8 + 36 g/ha) | Néonicotinoïde +Pyréthrinoïde | Chenilles carpophages, piqueurs suceurs |
| Azadirachtine | | Botanique (limonoïde) | Chenilles carpophages |
| Bétacyfluthrine + Imidacloprid | (9 + 20 g/ha) | Pyréthrinoïdes +Néonicotinoïde | Chenilles carpophages, piqueurs suceurs |
| Bifenthrine + Acétamipride | (30+8 g/ha) | Pyréthrinoïde +Néonicotinoïde | Chenilles carpophages, piqueurs suceurs |
| Chlorpyriphos éthyl + Thirame | (250+250 g/kg) | Organophosphoré +Dithiocarbamate | Maladies, insectes du sol & des plantules |
| Chromafenozide | 50 g/ha | Agonistes d'hormone de muer (régulateurs de croissance d'insectes (RCI)) | Chenilles carpophages |
| Cyantraniliprole | 40 g/ha | Diamide | Chenilles carpophages |
| Cyperméthrine +Triazophos +Acétamiprid | (36+150 + 8 g/ha) | Pyréthrinoïde +organophosphoré +Néonicotinoïde | Chenilles carpophages, chenilles phyllophages, piqueurs suceurs |
| Diflubenzuron | 150 g/ha | Benzoylurée | Chenilles carpophages |
| Emamectine benzoate | 19 g/ha | Avermectine | Chenilles carpophages |
| Endosulfan* | 750 g/ha | Cyclodiène chloré | Complexe des ravageurs |
| Flonicamid + Bifenthrine** | (250+15 g/ha) | Néonicotinoïdes +Pyréthrinoïdes | Chenilles carpophages, piqueurs suceurs |
| Flubendiamide + Thiacloprid | (24+24 g/ha) | Benzenedicarboxamide + Néonicotinoïde | Chenilles carpophages |
| Flubendiamide/Spirotetramate | (20+15 g/ha) | Benzenedicarboxamide/Acide tetronic | Chenilles carpophages |
| Imidachlopride + TMTD | (250 +200 g/kg) | Néonicotinoïde +Dithiocarbamate | Maladies, insectes du sol & des plantules |
| Imidacloprid + Propiconazole | (125 +15 g/kg) | Néonicotinoïde +Triazoles | Maladies, insectes du sol & des plantules |
| Imidacloprid + Thirame | (250+100 g/kg) | Néonicotinoïde +Dithiocarbamate | Maladies, insectes du sol & des plantules |
| Imidacloprid + Thirame + Pencycuron | 233+107+50 g/l | Néonicotinoïde +Dithiocarbamate +Phénylurée | Maladies, insectes du sol & des plantules |
| Indoxacarb | 150 g/ha | Oxadiazine | Chenilles carpophages |
| Lambdacyhalothrine + Imidacloprid | (15+50 g/ha) | Pyréthrinoïde +Néonicotinoïde | Chenilles carpophages, piqueurs suceurs |
| Lambdacyhalothrine + Profénofos | (15+250 g/ha) | Pyréthrinoïdes +Organophosphoré | Chenilles carpophages, chenilles phyllophages, piqueurs suceurs |
| Lambdacyhalothrine + Pyriproxyfene | (15 + 15 g/ha) | Pyréthrinoïdes +Dérivé de pyridine (imitateur juvénile d'hormone | Chenilles carpophages, piqueurs suceurs |
| Lambdacyhalothrine + Thiamethoxam | (15+30 g/ha) | Pyréthrinoïde +Néonicotinoïde | Chenilles carpophages, piqueurs suceurs |
| Lambdacyhalothrine +Acétamiprid | (15+8 g /ha) | Pyréthrinoïdes +Néonicotinoïde | Chenilles carpophages, piqueurs suceurs |
| Lambdacyhalothrine +Acétamiprid +Profénofos | (15+8+150 g/ha) | Pyréthrinoïdes +Néonicotinoïde +Organophosphoré | Chenilles carpophages, chenilles phyllophages, piqueurs suceurs |
| Lufenuron | | Benzoylurée | Chenilles carpophages |
| Profenofos | 750 g/ha | Organophosphoré | Complexe des ravageurs |
| Profénofos + Deltaméthrine | (250+12 g/ha) | Organophosphorés + Pyréthrinoïdes | Chenilles carpophages, piqueurs suceurs |
| Spinoteram + Acétamipride | (14 + 16 g/ha) | Spinosyne +Néonicotinoïde | Chenilles carpophages, piqueurs suceurs |
| Spinozad | 480 g/ha | Spinosynes | Chenilles carpophages |
| Teflubenzuron | 15 g/ha | Benzoylurée | Chenilles carpophages |
| Teflubenzuron + Alfacyperméthrine | 36 g/l | Benzoylurée +Pyréthrinoïde | Chenilles carpophages, piqueurs suceurs |
| Thiamethoxam + Fludioxonil +Mefenoxam | (350+25+ 10 g/l) | Néonicotinoïde +Phénylpyrrole +Acylamine | Maladies, insectes du sol & des plantules |
| Thiamethoxam + Lambdacyhalothrine | (21 + 15 g/ha) | Néonicotinoïde +Pyréthrinoïde | Chenilles carpophages, piqueurs suceurs |

**Annexe 4 : Article pubié dans IJBCS (Résumé)**

Available online at http://www.ifgdg.org

Int. J. Biol. Chem. Sci. 12(1): 157-167, February 2018

ISSN 1997-342X (Online), ISSN 1991-8631 (Print)

International Journal of Biological and Chemical Sciences

Original Paper http://ajol.info/index.php/ijbcs http://indexmedicus.afro.who.int

# Évaluation de l'efficacité biologique d'extrait de neem (*Azadirachta indica* Juss.) comme alternatif aux pyréthrinoïdes pour le contrôle des principaux ravageurs du cotonnier (*Gossypium hirsutum* L.) au Sénégal

Banna SANE[1,2*], Djibril BADIANE[2], Momar Talla GUEYE[3] et Ousmane FAYE[1]

[1]*Département de Biologie Animale, Faculté des Sciences de Dakar, UCAD, BP 5005, Dakar, Sénégal.*
[2]*Institut Sénégalais de Recherches Agricoles, Centre de Recherches Agricoles BP 211 Tambacounda, Sénégal.*
[3]*Institut de Technologie Alimentaire, Hann-Dakar, BP 2765, Sénégal.*
[*]*Auteur correspondant ; E-mail: bannahelene@gmail.com*

**RESUME**

Les insectes ravageurs constituent une contrainte majeure à la production du cotonnier. En vue de trouver une alternative à la lutte chimique contre ces nuisibles, l'effet insecticide d'un extrait d'huile de neem (*Azadirachta indica* Juss.) formulé 1% a été évalué au champ sur les principaux ravageurs du cotonnier au Sénégal. Azadirachtine A 10 g/l à la dose d'un litre à l'hectare a été testé en comparaison avec un insecticide chimique Profénofos 500 g/l à la dose 1,5 litre à l'hectare et un témoin absolu (non traité) dans un dispositif en bloc de Fisher. Les observations et mesures ont porté principalement sur le niveau des populations de piqueurs suceurs et de chenilles et l'incidence des carpophages sur les organes florofructifères du cotonnier. Les résultats obtenus révèlent que l'Azadirachtine a permis de réduire significativement ($p<0.05$) les populations des ravageurs ainsi que leurs dégâts causés sur le cotonnier. Azadirachtine A 10 g/l a été très efficace sur les chenilles (72% pour les carpophages et 91% pour les phyllophages) tout comme le produit chimique. Cependant, les résultats sur les piqueurs suceurs restent mitigés (60% pour *Bemisia tabaci* et 32% pour *Aphis gossypii*). L'extrait d'huile de neem formulé 1% (Azadirachtine A 10 g/l) peut être utilisé dans la lutte intégrée contre les principaux insectes ravageurs du cotonnier.
© *2018 International Formular Group. All rights reserved.*

**Mots clés:** Cotonnier, ravageurs, effet insecticide, Azadirachtine A, Sénégal.

# Evaluation of the biological efficiency of neem extract (*Azadirachta indica* Juss.) as an alternative to pyrethrinoïds for the control of main cotton (*Gossypium hirsutum* L.) pests in Senegal

**ABSTRACT**

Insect pests are a major constraint to cotton production. In order to find an alternative to chemical pesticides, insecticidal effect of 1% formulated neem oil extract (*Azadirachta indica* Juss.) was evaluated in the field on the principal pests of cotton in Senegal. Azadirachtin A 10 g/l at a rate of one liter per hectare was tested in comparison with a Profenofos chemical insecticide 500 g/l at the rate of 1.5 liters per hectare and an absolute control (untreated) in a Fisher block design. Observations and measurements focused on the level of sucking and caterpillar populations and damages on cotton florofruiter organs by carpophages. The results

© *2018 International Formular Group. All rights reserved.* 
DOI : https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v12i1.12

**Annexe 5 : communication orale lors des doctoriales ED-SEV du 03 au 04 juillet 2019**

UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR
ECOLE DOCTORALE
Sciences de la Vie, de la Santé et de l'Environnement
'ED-SEV'

## Communiqué

L'Ecole Doctorale Sciences de la Vie, de la Santé et de l'Environnement (ED-SEV) de l'UCAD organise, les **03 et 04 Juillet 2019 à l'UCAD2**, les **Doctoriales conjointes** des Mentions « Biologie, Production et Pathologies Animales » et « Biologie, Physiologie et Pathologies Végétales ».

Cette édition, placée sous le haut patronage du Ministre de l'Agriculture et de l'Equipement Rural (M.A.E.R), le Professeur ***Moussa BALDE*** a pour thème :

**« L'Université face aux défis de la sécurité alimentaire en Afrique ».**

# Efficacité des extraits aqueux de feuilles de Azadirachta *indica*, *Hyptis suaveolens* et *Anacardium occidentale* pour la lutte contre *Helicoverpa armigera* (Hübner) et caractérisation de l'huile essentielle de *Hyptis suaveolens*

**SANE Banna[1, 2*], BADIANE Djibril[2], SILVIE Pierre[3], GUEYE Momar Talla[4]**

[1]*Faculté des Sciences de Dakar/UCAD, Département de Biologie Animale, Dakar, Sénégal.*
[2]*Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA), Centre de Recherches Agricoles, Tambacounda, Sénégal.*
[3]*Centre International de Recherche Agronomique pour le Développement/ Institut de Recherche et de Développement (CIRAD/IRD), CIRAD-PERSYST/UPR 115 AÏDA, Montpellier, France.*
[4]*Institut de Technologie Alimentaire (ITA), Dakar, Sénégal.*
**Auteur correspondant ; E-mail : bannahelene@gmail.com*

**Résumé** :

La présente étude s'inscrit dans la recherche d'alternatives à la lutte chimique par l'utilisation d'extraits de plantes contre *H. armigera* au niveau des champs de cotonnier. L'essai mise en place sur 2 ans dans 2 sites à consister à évaluer l'effet des extraits aqueux de feuilles de *Azadirachta indica, Hyptis suaveolens et Anacardium occidentale* sur *H. armigera*. Huit traitements ont été comparés : un témoin non traité, un témoin traité avec un insecticide chimique et 6 traitements avec 2 concentrations différentes d'extraits des trois plantes. Les relevés des chenilles du ravageur ont été réalisés de façon hebdomadaire sur 30 plants pour chaque parcelle élémentaire du 30ème au 122ème Jour Après Levée des cotonniers. La caractérisation de l'huile essentielle de *H. suaveolens* a été réalisée par GCP et GC/MS. Les extraits aqueux de feuilles d'*A. indica*, *H. suaveolens* et *A. occidental* ont permis de réduire significativement le niveau d'infestation des chenilles de *H. armigera* par rapport au témoin non traité ainsi que les dégâts observés sur les capsules de cotonnier. A la concentration supérieure (29%), les extraits aqueux de feuilles offrent une protection égale au témoin de référence chimique dans le contrôle des chenilles de *H. armigera*. La caractérisation de l'huile essentielle de *H. suaveolens* nous a permis d'identifier plusieurs molécules et révèle sa richesse en Sabinène (25,5%), en (E) –β-Caryophyllène (15,3%), en Terpinolène (6,8%) et en Limonène (5,1%).

**Mots clés :** Cotonnier, *Helicoverpa armigera*, Extraits de plantes, *Azadirachta indica*, *Hyptis suaveolens*, *Anacardium occidentale*

**Annexe 6 : Communication à l'occasion de la Conférence Intensification Durable CID, 8 - 10 octobre 2019**

# Efficacité des extraits aqueux et hydroéthanoliques de feuilles de *Azadirachta indica*, *Hyptis suaveolens* et *Anacardium occidentale* pour la lutte contre *Helicoverpa armigera* (Hübner) sur le cotonnier au Sénégal

**SANE Banna[1, 2*], BADIANE Djibril[2], SILVIE Pierre[3], GUEYE Momar Talla[4]**

[1]*Faculté des Sciences de Dakar/UCAD, Département de Biologie Animale, Dakar, Sénégal.*
[2]*Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA), Centre de Recherches Agricoles, Tambacounda, Sénégal.*
[3]*Centre International de Recherche Agronomique pour le Développement/ Institut de Recherche et de Développement (CIRAD/IRD), CIRAD-PERSYST/UPR 115 AÏDA, Montpellier, France.*
[4]*Institut de Technologie Alimentaire (ITA), Dakar, Sénégal.*
**Auteur correspondant ; E-mail : bannahelene@gmail.com*

**Résume :**

La présente étude s'inscrit dans la recherche d'alternatives à la lutte chimique par l'utilisation d'extraits de plantes contre *H. armigera* au niveau des champs de cotonnier. Deux expérimentations ont été menées en station selon un dispositif expérimental en bloc de Fisher. En 1ère et 2ème année, l'essai mise en place sur 2 sites à consister à évaluer l'effet des extraits aqueux de feuilles de *Azadirachta indica, Hyptis suaveolens et Anacardium occidentale* sur *H. armigera*. Huit traitements ont été comparés : un témoin non traité, un témoin traité avec un insecticide chimique et 6 traitements avec 2 concentrations différentes d'extraits des trois plantes. Le 2ème essai a été mise en place en 3ème année sur un site. Il consistait à évaluer l'efficacité d'extraits de feuilles hydroéthanoliques de *A. indica, H. suaveolens et A. occidentale* sur *H. armigera.* Les extraits hydroéthanoliques ont été comparés à un témoin non traité, un insecticide chimique et des extraits aqueux de feuilles des mêmes plantes.

Pour les 2 essais, 6 traitements ont été effectués pour chaque produit du 31ème au 122ème jour après levée (JAL) des cotonniers. L'intervalle entre 2 traitements est de 14 jours. Les relevés des chenilles du ravageur ont été réalisés de façon hebdomadaire sur 30 plants pour chaque parcelle élémentaire du 30$^{ème}$ au 122$^{ème}$ Jour Après Levée des cotonniers.

Les extraits aqueux et hydoéthanoliques de feuilles d'*A. indica*, *H. suaveolens* et *A. occidental* ont permis de réduire significativement le niveau d'infestation des chenilles de *H. armigera* par rapport au témoin non traité. A la concentration supérieure (29%), les extraits aqueux de feuilles offrent une protection égale au témoin de référence chimique dans le contrôle des chenilles de *H. armigera*. Les extraits hydroéthanoliques contrôlent *H. armigera* au même titre que les extraits aqueux et le témoin chimique. Les dégâts observés sur les capsules de cotonnier dans les parcelles traitées avec les extraits sont significativement moins élevés que ceux constatés sur les parcelles non traitées.

Les extraits aqueux et hydoéthanoliques de feuilles *d'A. indica*, *H. suaveolens* et *A. occidentale* peuvent être utilisés dans la gestion intégrée de *H. armigera.*

**Doctorante :** Mlle. Banna SANE

**Résumé**

La culture cotonnière est l'une des principales sources de revenu des populations du Sénégal oriental et de la Haute Casamance caractérisés par leur pauvreté. Cependant, le coton est attaqué du semis à la récolte par diverse insectes ravageurs dont le plus redoutable *Helicoverpa armigera*. Dans la perspective de recherche d'alternative à la lutte chimique, l'efficacité biologique des extraits d'*Azadirachta indica* A. Juss, *Hyptis suaveolens* (L.) Poit et *Anacardium occidentale* Linn. sur les infestations de chenilles de *H. armigera* et leurs dégâts a été étudiée au champ à travers trois sites situés au niveau du bassin cotonnier du Sénégal. Une enquête a été d'abord effectuée auprès de 111 producteurs au centre sud du Sénégal pour analyser leurs perceptions sur l'utilisation des pesticides botaniques dans la gestion des insectes ravageurs du cotonnier. Les résultats ont montré que la majorité des producteurs reconnaisse les insectes en particulier *H. armigera* comme l'une des contraintes majeures à la production cotonnière. L'analyse des données a également révélé que les producteurs utilisent des extraits de plantes à base de neem, *Boscia senegalensis, Guiera senegalensis, Khaya senegalensis, Piliostigma reticulatum* contre les ravageurs. À part les connaissances qu'ont les producteurs des dangers liés aux pesticides chimiques, ils savent que les extraits de plantes peuvent être efficaces pour lutter contre les déprédateurs. L'analyse des données relatives à la dynamique des populations de chenilles de *H. armigera* de 2015 à 2017 dans la zone de production cotonnière laisse apparaître que la période critique d'infestation se situe entre mi-septembre et mi-octobre. Pour l'évaluation de l'efficacité des extraits aqueux d'*Azadirachta indica, Hyptis suaveolens* et *Anacardium occidentale* sur les infestations de chenilles de *H. armigera*, des relevés hebdomadaires et des traitements ont été réalisés dans des champs de cotonniers. Des analyses statistiques ont permis de comparer les effets entre concentrations (17% et 29%), entre plante et par rapport à deux témoins. Les résultats révèlent que les extraits de chacune des trois plantes réduisent significativement les infestations larvaires de la noctuelle par rapport au témoin non traité, et dans bien des cas les extraits ont été aussi efficaces que le témoin de référence chimique CONQUEST C. Cette capacité des extraits de plantes à réduire le nombre de ravageurs et leurs dégâts, a permis l'obtention de taux de capsules mûres saines équivalents au témoin de référence. Des travaux au laboratoire ont montré que les extraits hydroéthanoliques de neem et de *Hyptis* ainsi que les extraits aqueux de neem provoquent les pourcentages de mortalités larvaires les plus élevés qui sont respectivement de l'ordre de 68% et 56%, 72h après traitement. Une étude au champ a permis de confirmer la validité des tests de laboratoire sur l'activité biocide des extraits de neem, Hyptis et anacarde. Dans un autre volet, l'impact des extraits de plante sur la faune auxiliaire a été étudié. Les principaux résultats révèlent que les extraits aqueux et hydroéthanoliques des feuilles de neem, de *Hyptis suaveolens* et de *Anacardium occidentale* ont eu un effet moins toxique que les produits chimiques CONQUEST C et TIHAN sur les insectes utiles recensés (coccinelles, fourmis et araignées). L'analyse chimique de *Hyptis suaveolens* par GC/MS révèle sa richesse en sabinène (25,5%), (E)-β-caryophyllène (15,3%), bicyclogermacrène (10,1%), terpinolène (6,8%) et limonène (5,1%) qui sont connus par leurs propriétés insecticides.

**Biological effectiveness of the extracts of *Azadirachta indica* A. Juss, *Hyptis suaveolens* (L.) Poit and *Anacardium occidentale* Linn. in the fight against *Helicoverpa armigera* (Hübner, 1808) (Lepidoptera, Noctuidae) cotton pest (*Gossypium hirsutum* L.) in Senegal.**

**Abstract**

Cotton growing is one of the main sources of income for the people of eastern Senegal and Upper Casamance, who are characterized by poverty. However, cotton is attacked from sowing to harvest by various insect pests, the most formidable of which is the *Helicoverpa armigera*. In the perspective of research for alternatives to chemical control, the biological effectiveness of *Azadirachta indica* A. Juss, *Hyptis suaveolens* (L.) Poit and *Anacardium occidentale* Linn. extracts on caterpillar infestations of *H. armigera* and their damage has been studied in the field through three sites located in the cotton basin of Senegal. A survey was first conducted among 111 producers in south-central Senegal to analyze their perceptions on the use of botanical pesticides in the management of cotton insect pests. The results showed that the majority of producers recognize insects, in particular *H. armigera*, as one of the major constraints to cotton production. Data analysis also revealed that producers use plant extracts based on neem, *Boscia senegalensis, Guiera senegalensis, Khaya senegalensis, Piliostigma reticulatum* against pests. Apart from the producers' knowledge of the dangers of chemical pesticides, they know that plant extracts can be effective in controlling pests. Analysis of data on caterpillar population dynamics of *H. armigera* from 2015 to 2017 in the cotton production zone shows that the critical infestation period is between mid-September and mid-October. To evaluate the efficacy of aqueous extracts of *Azadirachta indica, Hyptis suaveolens and Anacardium occidentale* on caterpillar infestations of *H. armigera*, weekly surveys and treatments were carried out in cotton fields. Statistical analyses compared the effects between concentrations (17% and 29%), between plants and in relation to two controls. The results revealed that extracts from each of the three plants significantly reduced moth larval infestations compared to the untreated control, and in many cases the extracts were as effective as the chemical reference control CONQUEST C. This ability of the plant extracts to reduce the number of pests and their damage resulted in healthy mature capsule rates equivalent to the reference control. Laboratory work showed that hydroethanol extracts of neem and Hyptis as well as aqueous extracts of neem induced the highest percentages of larval mortality which are respectively in the order of 68% and 56%, 72 hours after treatment. A field study confirmed the validity of laboratory tests on the biocidal activity of neem, Hyptis and Anacardium extracts. In another component, the impact of plant extracts on auxiliary fauna was studied. The main results reveal that the aqueous and hydroethanolic extracts of neem leaves, *Hyptis suaveolens* and *Anacardium occidentale* had a less toxic effect than the chemicals CONQUEST C and TIHAN on the beneficial insects identified (ladybugs, ants and spiders). Chemical analysis of Hyptis suaveolens by GC/MS reveals its richness in sabinene (25.5%), (E)-β-caryophyllene (15.3%), bicyclogermacrene (10.1%) terpinolene (6.8%), and limonene (5.1%) which are known for their insecticidal properties.

**Discipline** : Biologie, Productions et Pathologies animales / Entomologie

**Mots clés** : *Helicoverpa armigera*, cotonnier, *Azadirachta indica*, neem, *Hyptis suaveolens*, *Anacardium occidentale*, extrait aqueux, extrait hydroéthanolique.

Département de Biologie Animale, Faculté des Sciences et Techniques, UCAD, Fann-Dakar, Sénégal / Institut Sénégalais de Recherches Agricoles, Centre de Recherches Agricoles BP 211 Tambacounda, Sénégal.